

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
FAKULTA TEXTILNÍ

SPOJOVÁNÍ ULTRAZVUKEM

ULTRASONIC WELDING

LIBEREC 2010

MICHAELA PLASOVÁ

Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že **SOUHLASÍM** s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

V Liberci, dne 8. ledna 2010

.....
Podpis

Poděkování

Touto cestou bych chtěla poděkovat na prvním místě své vedoucí bakalářské práce paní Ing. Lee Farské za poskytnutí mnoha cenných rad, připomínek a informací k vypracování této bakalářské práce a za ochotný a milý přístup po celou dobu spolupráce. Dále bych chtěla poděkovat paní Ing. Bc. Kataríně Zelové za srdečný přístup, přínosné odborné rady a pomoc při provádění experimentu a panu Ing. Rudolfu Třešňákovi za pomoc při zkoušení provedeného experimentu. Velký dík patří bezesporu i panu Ing. Jaromíru Pejchalovi ze strakonické firmy FEZKO THIERRY, a.s., který mi poskytl materiály pro účely experimentu. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat své rodině a úžasné spolubydlící v Liberci za trpělivost a neuvěřitelně silnou podporu při studiu, bez nichž by text, který právě držíte v rukou, nemohl vzniknout.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou ultrazvukového spojování. Její teoretická část v podobě literárního průzkumu ve zkratce mapuje některé netradiční metody spojování, zaměřuje se však zejména na spojování ultrazvukem. Experimentální část popisuje mnou navržený a do praxe převedený pokus k určení vlivu profilu spojovacího kotouče ultrazvukového svařovacího stroje na kvalitu spoje a vyhodnocuje uskutečněná měření. Práce zároveň obsahuje v rámci přílohy tabulky všech naměřených a vypočítaných hodnot potřebných k vyhodnocení experimentu.

Klíčová slova

- spojování, ultrazvuk, stroj, způsob, kvalita, spoj

Abstract

The Bachelor thesis deals with problems of the ultrasonic welding. The theoretical part, in form of the short literary survey, briefly charts some unconventional methods of jointing, but it's especially focused on the ultrasonic welding. The experimental part, projected by myself, describes the experiment aimed at the determination of influence of connecting disks of ultrasonic welding machine's profile on the quality of wiring and also at the analysis of realized measurements. In thesis supplement, there are the tables with all measured and calculated values necessary for experiment evaluation.

Key words

- jointing, ultrasound, machine, method, quality, joint

Obsah

ÚVOD	11
LITERÁRNÍ PRŮZKUM	12
1 SVAŘOVÁNÍ	13
1.1 Endotermické svařování	15
1.1.1 Ultrazvukové svařování	15
1.1.1.1 Princip ultrazvukového svařování	15
1.1.1.1.1 Ultrazvukové vlnění	16
1.1.1.2 Ultrazvukové spoje	16
1.1.1.2.1 Bodové spoje	17
1.1.1.2.2 Kontinuální spoje	17
1.1.1.2.2.1 Kvazikontinuální spoje	18
1.1.1.3 Ultrazvukové svařovací stroje	19
1.1.1.3.1 Stroje klasické konstrukce	20
1.1.1.3.2 Stroje speciální konstrukce	21
1.1.1.4 Parametry ultrazvukového svařování ovlivňující kvalitu spojů	22
1.1.1.4.1 Technické parametry	22
1.1.1.4.2 Technologické parametry	23
1.1.1.4.2.1 Přítlačná síla	23
1.1.1.4.2.2 Frekvence kmitání	24
1.1.1.4.2.3 Amplituda kmitání	24
1.1.1.4.2.4 Doba působení vln	24
1.1.2 Laserové svařování	24
1.1.3 Vysokofrekvenční svařování	27
1.2 Exotermické svařování	30
2 LEPENÍ	33
3 NÝTOVÁNÍ	39
EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
4 CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTU	43
4.1 Spojované materiály	44
4.2 Ultrazvukový svařovací stroj	45
4.2.1 Parametry svařování	48

4.2.1.1 Přítlak svařovaného materiálu	49
4.2.2 Spojovací kotouče	50
5 CHARAKTERISTIKA ZKOUŠENÍ	52
5.1 Spojené vzorky	52
5.2 Trhací stroj	53
6 VÝSLEDKY A DISKUSE	54
6.1 Pevnost spojů v tahu	56
6.2 Tažnost spojů	59
<u>ZÁVĚRY</u>	<u>61</u>
<u>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY</u>	<u>63</u>
<u>PŘÍLOHA</u>	<u>66</u>

Seznam použitých symbolů a zkratek

%	- procento
(M) Hz	- (mega) hertz
°C	- stupeň Celsia
a. s.	- akciová společnost
apod.	- a podobně
atd.	- a tak dále
bar	- bar
cca	- circa
CO ₂	- oxid uhličitý
ČSN	- Česká Státní Norma
d	- derivace
E	- počáteční tangentový modul pružnosti
EN	- Evropská Norma
f	- frekvence (kmitání), pevnost v tahu
F _(min.)	- absolutní síla (přítlačná, min. = při prvním porušení spoje)
ISO	- International Organization for Standardization
K _(1, 2, 3)	- spojovací kotouč (profil 1, profil 2, profil 3)
kg · m ⁻²	- kilogram na metr čtvereční
log	- logaritmus
m	- metr
m/ min	- metr za minutu
min.	-minulého
mm	- milimetr
N	- newton
N · kg ⁻¹ · m ²	- newton na kilogram na metr čtvereční
např.	- například
O	- osnova
obr., Obr.	- obrázek
P _(1, 2, 3)	- parametry svařování (nastavení 1, nastavení 2, nastavení 3)
PAD	- polyamid
PES	- polyester

popř.	- popřípadě
př.	- příklad
r.	- rok(u)
resp.	- respektive
s	- sekunda
t	- čas (působení vln), teplota (vzduchu)
$T_{(g, f, T)}$	- teplota (zeskelnění, měknutí, tání)
tab., Tab.	- tabulka
tj.	- to jest
tzn.	- to znamená
tzv.	- takzvaný
Ú	- útek
viz	- videre licet
y_m	- amplituda (kmitání)
$\Delta l_{(min.)}$	- absolutní deformace (při prvním porušení spoje)
$\varepsilon_{(E, E + P, P)}$	- poměrná deformace (elastická, viskoelastická, plastická), tažnost
η	- viskozita
$\vartheta_{(II, M, I)}$	- teplota (zvratu II. řádu, měknutí, zvratu I. řádu)
ρ_s	- plošná hmotnost
σ	- poměrná pevnost
φ	- vlhkost (vzduchu)

ÚVOD

První způsoby netradičního spojování textilních materiálů začaly vznikat zejména jako reakce na nevyhovující vlastnosti spoje získaného klasickým způsobem spojování tj. šitím, anebo jako reakce na problémy, které při něm nastávaly [1, 2, 3]. Zřejmě nejstarším, a zároveň tedy i prvním způsobem netradičního spojování je technologický proces nýtování. Tímto procesem se textilní materiály poprvé spojily již v 2. polovině 19. století [4]. K opravdovému rozmachu ve vývoji způsobů netradičního spojování však došlo až o cca celé jedno století déle, tj. až po 2. světové válce. Do popředí před doposud nejčastěji používaná rostlinná a živočišná vlákna se totiž dostala první syntetická vlákna vyvinutá před válkou, která kladla na proces spojování do té doby nevídané požadavky. Jejich výroba se však stala pro válkou zplundrované země jediným východiskem jak zahnat lačnost po chybějícím textilu, a tak se začaly hledat způsoby, jak těmto potřebám co nejlépe vyhovět [3, 5].

V současné době je možno vybírat z poměrně objemného množství různých způsobů netradičního spojování textilních materiálů. Některé jsou tedy stále ještě ve vývoji pod pokličkou laboratoří výzkumných ústavů, jiné jsou ale již dlouhá léta známé a v praxi s úspěchem využívány. Avšak i způsoby netradičního spojování, které jsou již v praxi využívány, neustále musí více či méně podléhat vývoji, jelikož se jimi spojují nehomogenní textilní materiály, které procházejí trvalým vývojem [6].

Následující literární průzkum této bakalářské práce poskytuje charakteristiky tří skupin způsobů netradičního spojování, a to těch nejrozšířenějších, které je právě možno řadit mezi ty poměrně dlouhá léta známé a v praxi s úspěchem využívány. Těmito způsoby jsou myšleny svařování, lepení a nýtování. Nejzvěrubněji se však literární průzkum zabývá popisem problematiky svařování ultrazvukem, jelikož jeho hlavním cílem je poskytnout čtenáři potřebné množství informací, aby bez větších obtíží mohl proniknout do experimentální části této bakalářské práce, která převádí teorii ultrazvukového spojování v rámci navrhnutého experimentu do praxe.

LITERÁRNÍ PRŮZKUM

1 SVAŘOVÁNÍ

Technologie svařování představuje relativně mladou metodu spojování nekonvenčního charakteru, kterou se u materiálů obsahujících alespoň 60% termoplastických vláken za pouhé přítomnosti tepla a tlaku vytváří nerozebíratelné, vzhledem k celku jednolitě, a tudíž zároveň i hospodárné spoje neboli tzv. svary [1, 2, 3, 6].

První myšlenka na tuto netradiční metodu spojování vzešla v druhé polovině minulého století jako reakce na problémy s šitím velmi populárních syntetických materiálů z termoplastických vláken, které začaly ohromovat trh po druhé světové válce [1, 2, 3, 5]. U švů vytvořených na těchto materiálech tradičním způsobem spojování se zejména po vyprání či chemickém vyčištění objevoval nepříznivý jev v podobě vrásnění. Důvodem bylo narušování šitého a šicího materiálu během spojování vysokou teplotou, a to především strojové šicí jehly, která se při šití na rychloběžných a vysokootáčkových strojích nadměrně zahřívala, a natavovala tak šitý a přepalovala šicí materiál [1, 2, 3].

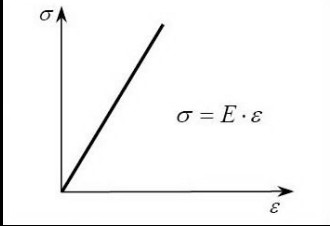
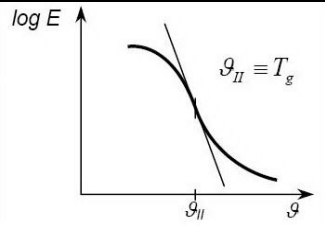
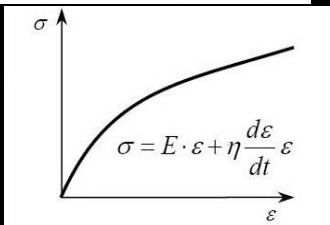
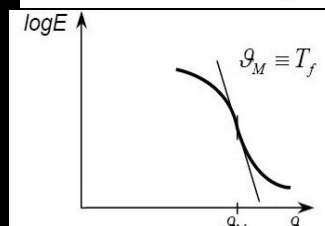
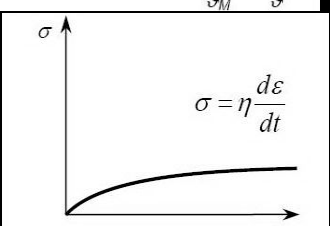
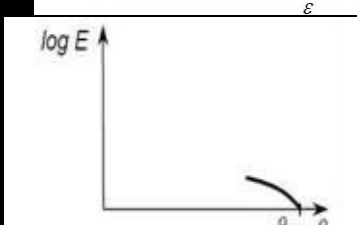
Již zmíněný procentuelní podíl termoplastické složky ve svařovaných materiálech, v tomto případě ve formě vláken, je pro tuto metodu opravdu nezbytný. Ke spojování totiž dochází právě díky těmto vláknům [1]. Termoplasty mají tu vlastnost, že působením tepla měknou, protože vzrůstá pohyb jejich molekul (tab. 1.2), a při ochlazení se opět vrací do svého výchozího stavu (reverzibilní děj). Pro vytvoření svaru se tedy vlákna spojovaných materiálů teplem uvádějí do jejich plastického stavu (taví se) ve kterém mají veškeré změny polohy molekul nevratný charakter a pak se k sobě materiály patřičně přitlačí (viskozní tavenina proteče skrze styčné plochy spojovaných materiálů) a ochladí. Svařování je vlastně jakýmsi plastickým typem deformace. Nejznámějšími zástupci termoplastických vláken jsou PAD a PES (tab. 1.1) [1, 3, 7].

Tab. 1.1 Charakteristické teploty nejznámějších zástupců termoplastických vláken [7]

Termoplastické vlákno	T_g [°C]	T_f [°C]	T_T [°C]
PAD 6	40	170 ~ 190	215 ~ 218
PAD 6. 6	47	235	245 ~ 255

PES	80	230 ~ 240	250 ~ 260
------------	----	-----------	-----------

Tab. 1.2 Průběh chování termoplastického vlákna při zvyšujícím se množství tepla [7]

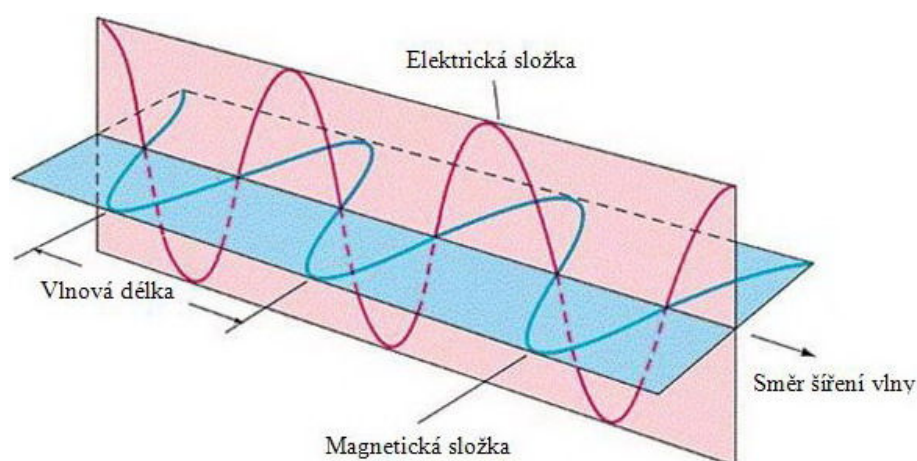
Množství tepla	Stav	Charakteristika stavu	Grafická charakteristika stavu
	<i>Sklovitý stav</i>	elastická deformace ϵ_E	
	Přechodová oblast	teplota zesklenní (zvratu II. řádu) T_g	
	<i>Kaučukovitý stav</i>	viskoelastická deformace $\epsilon_E + P$	
	Přechodová oblast	teplota měknutí T_f	
	<i>Plastický stav</i>	plastická deformace ϵ_P	
	Tavná oblast	teplota tání (zvratu I. řádu) T_T	

Podle toho, zda teplo v oblasti spoje svařovaných materiálů vzniká či je do ní přiváděno, lze svařování rozdělit na endotermické a exotermické. Těmito typy svařování se hlouběji zabývají následující podkapitoly [1, 2, 3].

1.1 Endotermické svařování

Při endotermickém svařování teplo vzniká na styčných stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje bezkontaktně zářením (radiací) [1, 2, 6].

Přenos tepla zářením je fyzikální děj, pro který není zapotřebí žádného látkového prostředí. Teplo se při něm přenáší vyzařováním elektromagnetických vln a jejich pohlcováním (obr. 1.1.1) [8].



Obr. 1.1.1 Elektromagnetická vlna [9]

V případě svařování elektromagnetické vlny pohlcují molekuly spojovaných materiálů, které se jimi uvedou do kmitavého pohybu (vzniká teplo), a svařované materiály začnou tudíž měknout [3, 10].

Dle vlastností elektromagnetického vlnění nejčastěji využívaných pro vznik tepla ke spojování se endotermické svařování rozděluje na ultrazvukové, laserové a vysokofrekvenční [1, 2, 3, 6, 8].

1.1.1 Ultrazvukové svařování

1.1.1.1 Princip ultrazvukového svařování

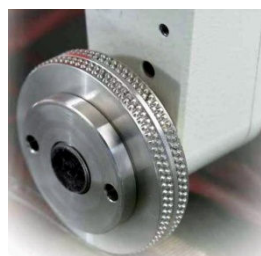
Princip ultrazvukového svařování spočívá v uvedení styčných stran svařovaných materiálů v oblasti spoje při současném stlačení (svařované materiály jsou po celý průběh spojovacího procesu sevřeny mezi pevnou oporu stroje a spojovací nástroj stroje, který do nich přenáší energii) do jejich plastického stavu elektromagnetickým vlněním o frekvenci v aktivní ultrazvukové oblasti, tj. aktivním ultrazvukovým vlněním, které mění fyzikální vlastnosti látek (směr vyzařovaného vlnění musí být vždy kolmý na spojované materiály) a v jejich následovném ochlazení [1, 3, 6].

1.1.1.1 Ultrazvukové vlnění

Ultrazvukové vlnění neboli ultrazvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí o frekvenci vyšší než 20 000Hz. Jelikož pro lidské ucho je slyšitelné pouze mechanické vlnění v látkovém prostředí o frekvenci v rozmezích 16Hz až 20 000Hz, jedná se o zvuk, který člověk není schopen vnímat pouhým uchem [1, 6, 8].

1.1.1.2 Ultrazvukové spoje

Ultrazvukovým svařováním lze vytvářet dva druhy spojů, a to bodové a kontinuální. Druh vytvářeného spoje je závislý na charakteru použitého spojovacího nástroje. Pro vznik bodového spoje se využívá spojovací nástroj výhradně tyčového charakteru (obr. 1.1.1.2.1 - a) a pro vznik kontinuálního spoje se využívá spojovací nástroj nejčastěji kotoučového charakteru (obr. 1.1.1.2.1 - b) [1].



a

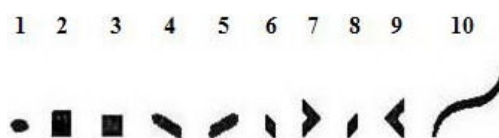
b

Obr. 1.1.1.2.1 Spojovací nástroj: a) tyčového charakteru, b) kotoučového charakteru [11]

1.1.1.2.1 Bodové spoje

Bodové ultrazvukové spoje se vytvářejí, jak již bylo zmíněno, pouze spojovacími nástroji tyčového charakteru.

Tyto spojovací nástroje jsou dostupné v mnoha konstrukčních provedeních, tzn. v mnoha velikostech, tvarech a s nepřeberným množstvím motivů na spojovacích plochách, což umožňuje vytvářet širokou škálu různě velkých a tvarovaných bodových spojů (obr. 1.1.1.2.1.1).



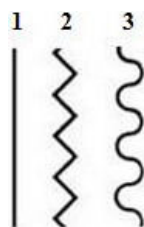
Obr. 1.1.1.2.1.1 Bodové ultrazvukové spoje [1]

Tento druh ultrazvukových spojů nachází nejefektivnější uplatnění zejména při zhotovování knoflíkových dírek, uzávěrek či při připevňování etiket apod. [1].

1.1.1.2.2 Kontinuální spoje

Kontinuální ultrazvukové spoje se vytvářejí nejčastěji spojovacími nástroji kotoučového charakteru, tzv. spojovacími kotouči, jelikož jejich odvalování po spojovaných materiálech je nejjednodušší způsob vzniku těchto nekonečných souvislých spojů. Tento způsob je sice nejjednodušší, ale rozhodně ne jediný. Kontinuální ultrazvukové spoje lze vytvářet i spojovacími nástroji tyčového charakteru. Tento způsob se ale téměř nevyužívá, a to zejména kvůli přílišné pracnosti, časové náročnosti a přitom nepříliš dobré vzhlednosti.

Spojovací kotouče jsou dostupné v mnoha velikostech a v různých obměnách motivů na spojovacích plochách, a tudíž jimi lze vytvářet, stejně jako spojovacími nástroji tyčového charakteru u bodového spojování, širokou škálu různě tlustých a tvarovaných (přímocharých nebo křivocharých) kontinuálních spojů (obr. 1.1.1.2.2.1).



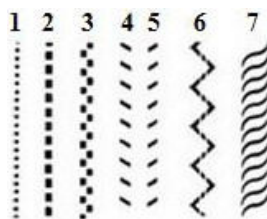
Obr. 1.1.1.2.2.1 Kontinuální ultrazvukové spoje [1]

Tímto druhem ultrazvukových spojů lze vytvářet celé výrobky z pevných materiálů, popř. z nepříliš pružných materiálů [1, 3].

1.1.1.2.2.1 Kvazikontinuální spoje

Kvazikontinuální ultrazvukové spoje neboli polokontinuální ultrazvukové spoje se vytvářejí stejně jako kontinuální ultrazvukové spoje nejčastěji spojovacími kotouči. Právě díky shodnému způsobu vzniku je lze řadit mezi kontinuální ultrazvukové spoje, i když vlastnostmi se liší. Tyto nekonečně přerušované spoje lze opět shodně s kontinuálními ultrazvukovými spoji vytvářet i spojovacími nástroji tyčového charakteru. Tento způsob se však využívá pouze při spojování velice drobných součástí či při vytváření spojů na těžce přístupných místech.

I spojovací kotouče pro kvazikontinuální ultrazvukové svařování jsou dostupné v mnoha velikostech a v různých obměnách motivů na spojovacích plochách (řada různě velkých a tvarovaných bodů jdoucích za sebou). Lze jimi tudíž opět vytvářet širokou škálu různých kvazikontinuálních spojů (obr. 1.1.1.2.2.1.1).



Obr. 1.1.1.2.2.1.1 Kvazikontinuální ultrazvukové spoje [1]

Kvazikontinuálními ultrazvukovými spoji lze vytvářet také celé výrobky z pevných i nepříliš pružných materiálů, ale nejlepší vlastnosti vykazují u pružných materiálů, jelikož nepotlačují ve své oblasti pružnost těchto spojovaných materiálů. Spojuje se jimi např. velmi populární funkční prádlo, spodní prádlo či sportovní oděvy (obr. 1.1.1.2.2.1.2) apod. Dále se s velkým úspěchem využívají pro ozdobné účely, jako např. imitace prošívání [1, 3].



Obr. 1.1.1.2.2.1.2 Kvazikontinuální ultrazvukový spoj na sportovní bundě od firmy Directalpine [12]

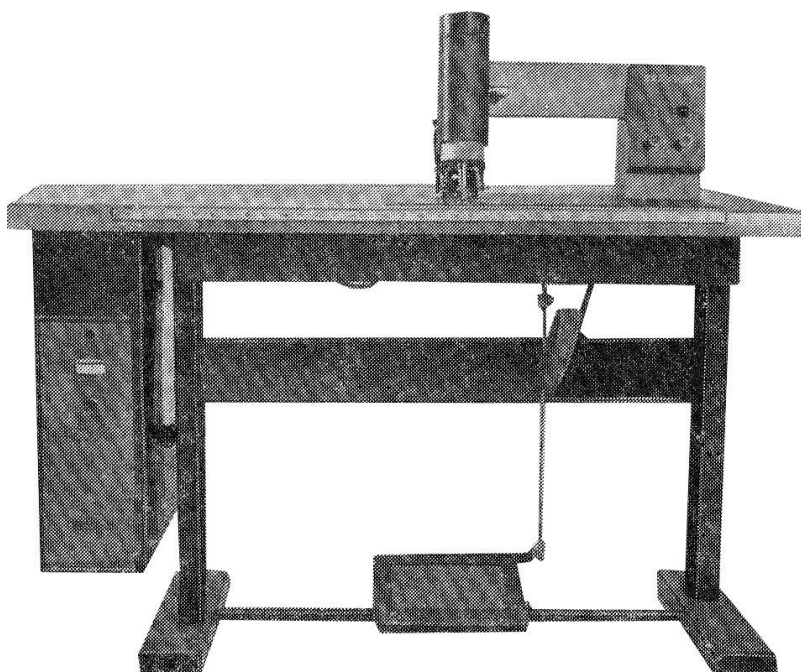
1.1.1.3 Ultrazvukové svařovací stroje

Ultrazvukových svařovacích strojů různých konstrukčních provedení je v současné době celá řada [6]. Podle konstrukce se dělí na ultrazvukové svařovací stroje podobné

charakteristickému tvaru běžných šicích strojů, tj. klasické konstrukce (obr. 1.1.1.3.1.2), a speciální konstrukce (obr. 1.1.1.3.2.1) [1, 6].

Nejúspěšnějším výrobcem těchto strojů je již téměř půl století firma BRANSON [1, 2, 6, 13]. V 80. a 90. letech min. století na trh dodávala stroje jak klasické konstrukce (obr. 1.1.1.3.1.1), tak speciální konstrukce. Klasická konstrukce se však zdála být nepříliš vhodnou pro potřeby této technologie, a tak od ní firma po čase upustila [1, 6].

1.1.1.3.1 Stroje klasické konstrukce



Obr. 1.1.1.3.1.1 Ultrazvukový svařovací stroj – BRANSON 300 [1]



Obr. 1.1.1.3.1.2 Ultrazvukový svařovací stroj – PFAFF 8310

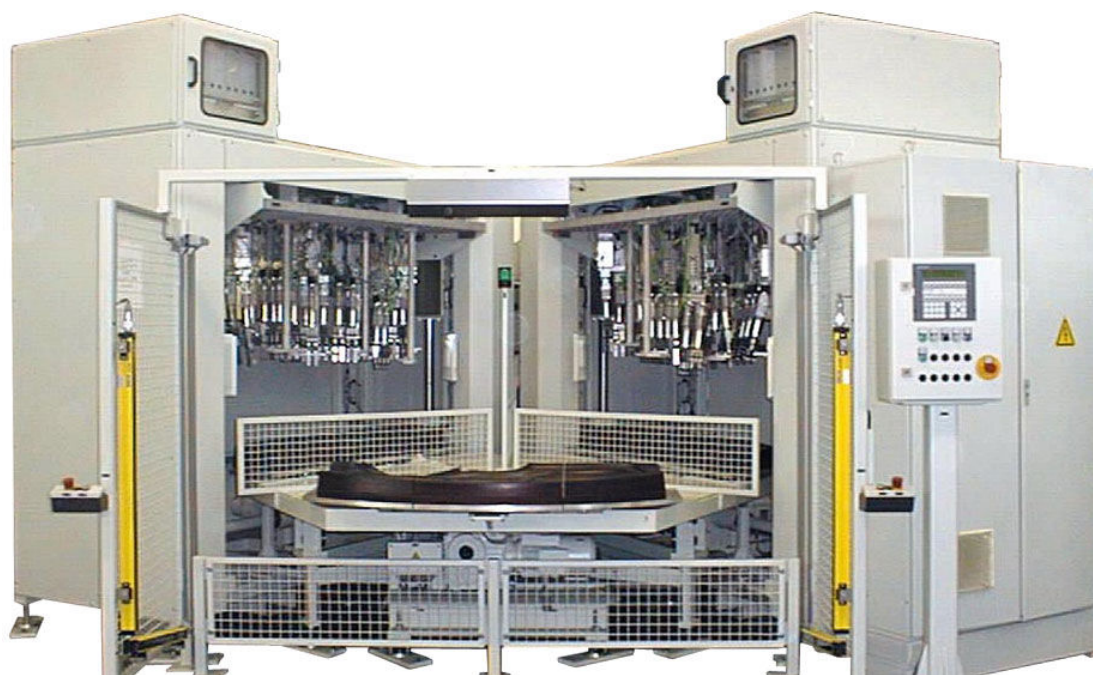
1.1.1.3.2 Stroje speciální konstrukce



a



b



c

Obr. 1.1.1.3.2.1 Ultrazvukové svařovací stroje nabízené firmou BRANSON:

a) Ruční stroj řady 2000LPe, b) Kompaktní stroj řady 2000IW/ 2000IW+, c) Rozměrný/ speciální stroj [13]

1.1.1.4 Parametry ultrazvukového svařování ovlivňující kvalitu spojů

Kvalitu výsledného ultrazvukového spoje ovlivňuje mnoho činitelů. Mezi nejvýznamnější však patří technické a technologické parametry ultrazvukového svařování [1].

1.1.1.4.1 Technické parametry

Technické parametry ultrazvukového svařování udávají technické údaje o ultrazvukovém svařovacím stroji.

Zahrnují informace typu:

- z jakého materiálu je zhotovena pevná opora stroje a jaké má rozměry
- jakého charakteru je spojovací nástroj a jaký motiv má jeho spojovací plocha
- co je zdrojem ultrazvuku

- číselné údaje o:
 - napětí
 - příkonu
 - výkonu
 - stlačeném vzduchu
 - apod. [1]

1.1.1.4.2 Technologické parametry

Vhodným nastavením technologických parametrů ultrazvukového svařování se největší měrou ovlivní kvalita výsledného spoje.

Těmito parametry jsou:

- přítlačná síla
- frekvence kmitání
- amplituda kmitání
- doba působení vln

Aby nastavení výše jmenovaných technologických parametrů bylo co nejvhodnější, je zapotřebí jejich hodnoty experimentálně určit. Hodnoty technologických parametrů se musí určovat individuálně pro každý nový druh spojovaných materiálů a vytvářených operací.

Zdlouhavá předvýrobní fáze může být pro mnoho firem, a to zejména těch, které vyrábějí velké množství rychle se měnících zakázek, překážkou [1]. Tato technologie je nepochybně cenově náročnější, a to i přes fakt, že nevyžaduje žádný spojovací materiál. Avšak, jak tvrdí firma Directalpine, po stránce designové a funkční je ultrazvukové svařování vynikající [1, 12].

1.1.1.4.2.1 Přítlačná síla

Přítlačná neboli tzv. tlaková síla \mathbf{F} [N] je fyzikální vektorová veličina (udána velikostí, směrem a působištem), kterou spojovací nástroj působí deformačně kolmo na plochu spojovaných materiálů položených na pevné opoře stroje [1, 8].

1.1.1.4.2.2 Frekvence kmitání

Frekvence kmitání, někdy nazývaná též jako kmitočet, f [Hz] je fyzikální veličina, která udává počet kmitů, které těžiště elektromagnetického oscilátoru (soustavy vykonávající kmitavý pohyb) vykoná za jednotku času [1, 8].

1.1.1.4.2.3 Amplituda kmitání

Amplituda kmitání, některou literaturou též nazývaná jako výkmit či poloviční rozkmit, y_m [m] je fyzikální veličina udávající maximální výchylku těžiště elektromagnetického oscilátoru z rovnovážné polohy [1, 8].

1.1.1.4.2.4 Doba působení vln

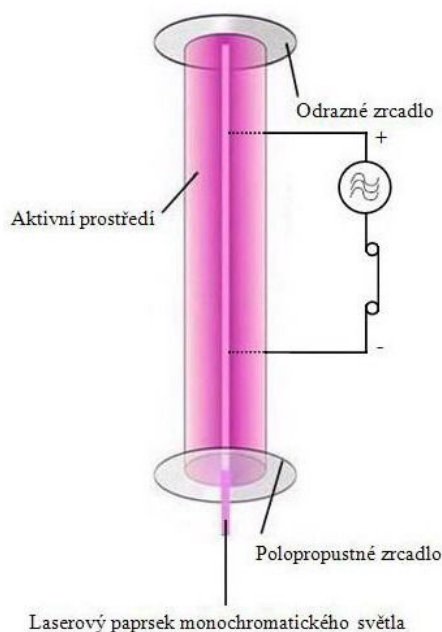
Doba působení vln t [s] je fyzikální veličina, která vyjadřuje čas trvání děje. Velikost hodnoty této veličiny se odvíjí od výše jmenovaných technologických parametrů ultrazvukového svařování. Obecně však platí, čím menší tato hodnota je, tím vyšší je produktivita výroby [1, 8].

1.1.2 Laserové svařování

Princip laserového svařování spočívá v uvedení styčných stran svařovaných materiálů v oblasti spoje při současném stlačení (svařované materiály jsou po celý průběh spojovacího procesu sevřeny mezi pevnou oporu stroje a spojovací nástroj stroje,

který do nich přenáší energii) do jejich plastického stavu elektromagnetickým zářením, jehož zdroj kmitá pouze na jediné frekvenci, tj. aktivním monochromatickým zářením, které mění fyzikální vlastnosti látek, a v jejich následovném ochlazení [6, 8, 14, 15].

Hlavními zdroji monochromatického záření neboli monochromatického světla (viditelné záření) jsou zejména lasery (obr. 1.1.2.1) [6, 8, 14, 16].



Obr. 1.1.2.1 Laser [8, 16]

Lasery jsou tvořeny aktivním prostředím, rezonátorem (odrazné a polopropustné zrcadlo) a zdrojem energie. Zdrojem energie, který může představovat například výbojka, je do aktivního média dodávána ("pumpována") energie. Ta energeticky vybudí elektrony aktivního prostředí ze základní energetické hladiny do vyšší energetické hladiny, dojde k tzv. excitaci. Takto je do vyšších energetických stavů vybudena většina elektronů aktivního prostředí a vzniká tak tzv. inverze populace. Při opětovném přestupu elektronu na nižší energetickou hladinu dojde k vyzaření (emisi) kvanta energie ve formě fotonů. Tyto fotony následně interagují s dalšími elektrony inverzní populace, čímž spouštějí tzv. stimulovanou emisi fotonů, se stejnou frekvencí a fází, i u nich. Díky umístění aktivní části laseru do rezonátoru, tvořeného nejčastěji zrcadly, dochází k odrazu paprsku fotonů a jeho opětovnému průchodu prostředím. To dále podporuje stimulovanou emisi a tím dochází k exponenciálnímu zesilování toku fotonů. Výsledný světelný paprsek pak opouští tělo laseru průchodem skrze polopropustné zrcadlo [8, 16].

Laser je slovo složené z počátečních písmen anglického slovního spojení *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, což v překladu znamená *zesilování světla stimulovanou emisí záření*. První funkční laser představil v USA roku 1960 Theodore H. Maiman [16].

Laserovým svařováním lze, jako u ultrazvukového svařování, vytvářet různé bodové či kontinuální popř. kvazikontinuální spoje [6].

V 90. letech minulého století a v první polovině tohoto desetiletí prodělala technologie laserového svařování poměrně dynamický vývoj. Zčásti k tomu došlo díky vývoji výkonnějších a nových typů laserů, zčásti díky nově zavedeným moderním materiálům (plošné materiály z nanovláken), které jsou jinými netradičními metodami obtížně spojitelné, a zčásti také díky zvyšování požadavků na kvalitu spojů [17]. Hlavní předností laserového svařování oproti ostatním netradičním metodám spojování je vysoká kvalita svaru (umožňuje nastavením zvyšovat hloubku průvaru – zvyšuje pevnost spoje, má perfektní povrchový vzhled) a přitom podstatně menší tepelně ovlivněná zóna spojovaných materiálů (umožňuje téměř přesné přivedení potřebné energie do svaru, tzn., že spojované materiály pohltní prakticky veškeré vyzářené monochromatické světlo) [6, 17]. O vývoj technologie laserového svařování se však zajisté přičinily, a to v nemalé míře, i rostoucí požadavky na zvyšování produktivity výroby a opakovatelnosti technologického procesu [17].

Laserové spoje se nejčastěji vytvářejí plynově-molekulárními laserovými svařovacími stroji středního výkonu, jejichž aktivní prostředí tvoří oxid uhličitý, tzv. CO₂ lasery, popř. pevnolátkovými laserovými svařovacími stroji vysokého výkonu na bázi rubínu, tzv. rubínovými lasery [6, 16, 17].

Výrobou nejmodernějších laserových svařovacích strojů (obr. 1.1.2.2), které zatím nejsou v průmyslu příliš rozšířené, se zabývá i firma PFAFF společně se svou partnerskou firmou ProLas GmbH, která si jimi vysloužila na mezinárodním veletrhu technických a netkaných textilií TECHTEXTIL 2005 v kategorii průmysl, vynálezy, inovace, chemie cenu za inovaci [18].



Obr. 1.1.2.2 Laserový svařovací stroj – PFAFF 83XX Laser [18]

Kvalita výsledného laserového spoje je zejména závislá na spojovaných materiálech, výkonu stroje (vlnové délce monochromatického záření), druhu použité optiky ve stroji (ohnisková vzdálenost), rychlosti svařování a mnoha dalších, neméně významných činitelích [6, 17].

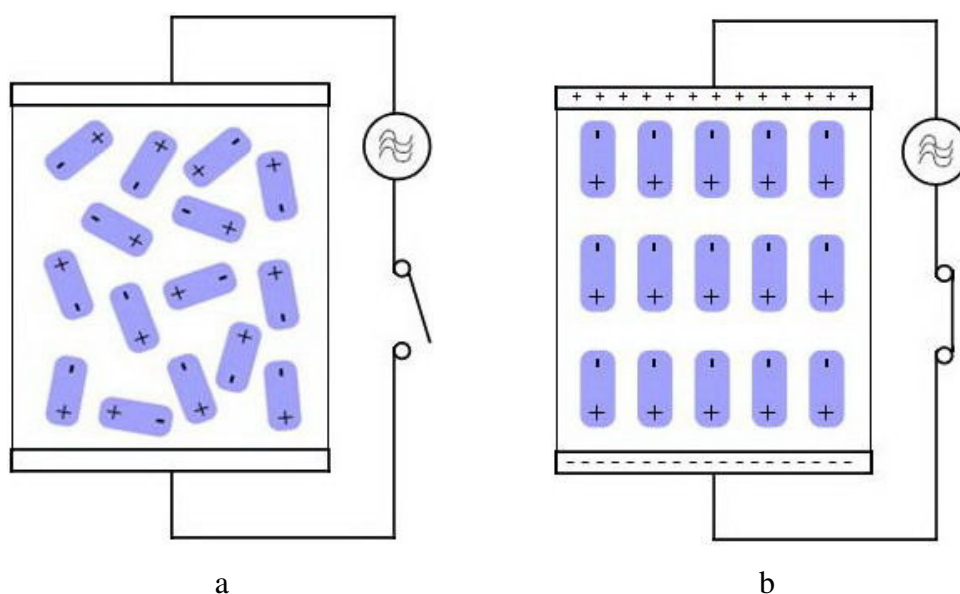
1.1.3 Vysokofrekvenční svařování

Princip vysokofrekvenčního svařování spočívá v uvedení styčných stran svařovaných materiálů v oblasti spoje při současném stlačení (svařované materiály jsou po celý průběh spojovacího procesu sevřeny mezi elektrody ve formě pevné opory stroje a spojovacího nástroje stroje, které do nich přenášejí energii) do jejich plastického stavu vysokofrekvenčním elektromagnetickým vlněním rychle střídajícím svůj směr, které mění fyzikální vlastnosti látek, a v jejich následovném ochlazení [1, 3, 6].

Velikost vysoké frekvence elektromagnetického vlnění se musí řídit technickými možnostmi a předpisy o rušení telekomunikačních spojů. Hodnota vysoké frekvence musí ležet jen v té části pásma tepelného vyzařování, v které nedochází k rušení telekomunikačních spojů [1]. V tomto pásmu leží pouze hodnoty vysoké frekvence elektromagnetického vlnění o velikosti od 1MHz do $27,12 \pm 0,6\text{MHz}$ [1, 6].

Při nastavení vyšší (nepovolené) frekvence je nutné svařovací prostor dokonale odstínit [1].

Vlivem působení vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění (jeho elektrické složky) na v běžném stavu elektricky neutrální spojované materiály (elektrické dipóly molekul jsou orientované různými směry) dochází k vytvoření navzájem opačných elektrických nábojů na vnějších stranách spojovaných materiálů v oblasti spoje neboli k tzv. polarizaci spojovaných materiálů (obr. 1.1.3.1), a to díky přeorientování směrů elektrických dipólů jejich molekul. Na té straně spojovaných materiálů, ze které do nich siločáry elektrického pole vstupují (+), jsou dipóly natočeny zápornými náboji (-) a na opačné straně (-) kladnými náboji (+), jelikož nestejné náboje se přitahují [1, 8, 19].



Obr. 1.1.3.1 Spojovaný materiál: a) v běžném stavu, b) polarizovaný [1, 3, 8, 19]

Rychlým střídáním směru elektromagnetického vlnění o vysoké frekvenci dochází u polárních spojovaných materiálů k rychlému střídání orientace směrů elektrických dipólů jejich molekul neboli k rychlému střídání jejich polarity. Molekuly spojovaných materiálu jsou tedy uvedeny do pohybu, a spojované materiály se tudíž začínou tavit [1, 3, 6].

Vysokofrekvenčním svařováním lze stejně jako u ultrazvukového i u laserového svařování vytvářet různé bodové či kontinuální popř. kvazikontinuální spoje [1].

Pro tvorbu výše uvedených druhů vysokofrekvenčních spojů se již celá léta využívá vysokofrekvenční svařovacích strojů [1]. Tyto svařovací stroje se dělí podle druhu zhotovované konstrukce na stroje podobné charakteristickému tvaru běžných šicích strojů, tj. klasické konstrukce, a speciální konstrukce, stejně jako tomu bylo u předcházejících metod technologie svařování [1, 20]. Jelikož se vysokofrekvenční svařování využívá spíše při výrobě různých plachet, stanů, přebalovacích podložek pro děti popř. při výrobě speciálních oděvů apod. nežli v běžné oděvní průmyslové výrobě, je proto většina vyprodukovaných vysokofrekvenčních strojů v různých speciálních konstrukčních provedeních, které jsou přizpůsobeny účelům použití [1, 2, 20].

Výrobou výhradně vlastních patentních vysokofrekvenčních svařovacích strojů se již od roku 1971 velmi úspěšně zabývá italská firma GEAF Srl, která nabízí stroje jak klasické konstrukce, tak stroje speciální konstrukce, kterou je firma schopna ještě přizpůsobit individuálnímu přání zákazníka (obr. 1.1.3.2) [20, 21].



Obr. 1.1.3.2 Vysokofrekvenční svařovací stroj od firmy GEAF Srl přizpůsobený individuálnímu přání zákazníka [21]

I kvalita výsledného vysokofrekvenčního spoje je opět obdobně jako u předešlých způsobů svařování shodně ovlivňována spojovanými materiály, materiálem elektrody ve formě pevné opory stroje, charakterem a rozměry elektrody ve formě spojovacího nástroje (okrajový efekt – závažnou problematikou okrajového efektu se hlouběji zabývá převážně literatura [1]), přítlačnou silou, frekvencí kmitání a dalšími důležitými činiteli [1, 6].

1.2 Exotermické svařování

Exotermické svařování je nejstarším, nejjednodušším a zároveň i poměrně levným typem svařování [1]. Má však řadu nevýhod a nedostatků, které omezují okruh jeho možného využívání [1, 2]. Jeho největším nedostatkem je, že výsledné spoje nesou neodstranitelné stopy po spojovacích nástrojích [1]. Tento typ svařování nachází uplatnění zejména při výrobě obalových produktů [1, 2].

Při exotermickém svařování se teplo přivádí buď z vnějších nebo z vnitřních stran svařovaných materiálů do oblasti spoje kontaktně vedením (kondukcí) nebo prouděním (konvekcí) [1, 2, 3, 6].

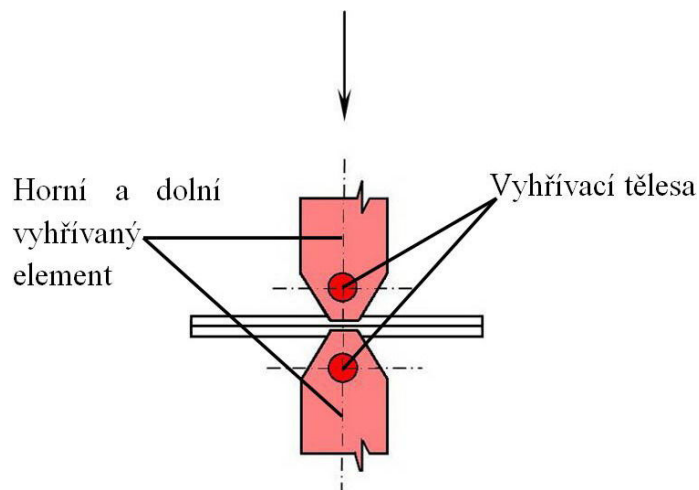
Dle způsobu přívodu tepla do oblasti spoje svařovaných materiálů se tedy exotermické svařování rozděluje na termokonduktivní a termokonvektivní [6].

Jak již bylo v úvodu podkapitoly zmíněno, u termokonduktivního svařování je přívod tepla uskutečňován vedením [1, 6].

Přenos tepla vedením je fyzikální děj, pro který je zapotřebí látkové prostředí. Teplo se při něm samovolně přenáší vzájemnými srážkami molekul, (molekuly si předávají kinetickou energii) z míst o vyšší teplotě do míst o nižší teplotě [8].

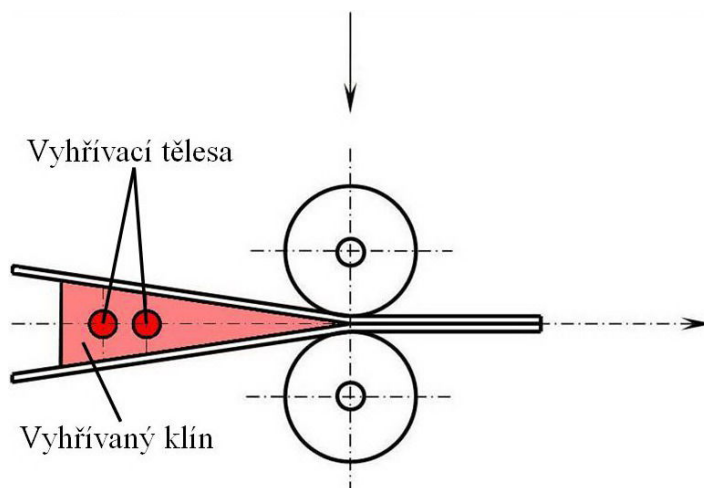
Termokonduktivní svařování lze dále dělit dle působiště přiváděného tepla na oblast spoje svařovaných materiálů a to na termokonduktivní svařování s působištěm přiváděného tepla na vnějších stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje a na termokonduktivní svařování s působištěm přiváděného tepla na vnitřních stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje [1, 2, 3].

Princip termokonduktivního svařování s působištěm přiváděného tepla na vnějších stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje (obr. 1.2.1) spočívá v uvedení svařovaných materiálů při současném stlačení do jejich plastického stavu a v jejich následném ochlazení [1]. Do plastického stavu se svařované materiály uvádějí přímým kontaktem se zdrojem tepla v podobě různých vyhřívaných elementů mnoha rozličných charakterů, jež mění fyzikální vlastnosti látek a vykazují zároveň vůči svařovaným materiálům přítlačnou sílu [1, 3].



Obr. 1.2.1 Svařování vyhřívavými elementy (tyčového charakteru) – vnější působíště přiváděného tepla [1, 3]

Princip termokonduktivního svařování s působíštěm přiváděného tepla na vnitřních (styčných) stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje (obr. 1.2.2) spočívá v uvedení svařovaných materiálů do jejich plastického stavu a v jejich následovném stlačení a ochlazení [1, 3]. Do plastického stavu se svařované materiály uvádějí přímým kontaktem se zdrojem tepla v podobě různých vyhřívavých elementů charakteru klínu, jež mění fyzikální vlastnosti látek [1].



Obr. 1.2.2 Svařování vyhřívavým elementem (klínového charakteru) – vnitřní působíště přiváděného tepla [1, 3]

U termokonvektivního svařování, jak naznačuje samotný název procesu, je přívod tepla uskutečňován konvekcí neboli prouděním [6]. Tento způsob je oproti termokonduktivnímu svařování citlivější vůči svařovaným materiálům.

Přenos tepla prouděním je také fyzikální děj, pro který je zapotřebí látkového prostředí. Teplo se při něm samovolně přenáší z míst o vyšší teplotě do míst o nižší teplotě zahříváním vzduchu (zdola) v tíhovém poli (teplejší vzduch má nižší hustotu a stoupá vzhůru) [8].

Termokonvektivní svařování lze stejně jako termokonduktivní svařování dále dělit dle působiště přiváděného tepla na oblast spoje svařovaných materiálů a to na termokonvektivní svařování s působištěm přiváděného tepla na vnějších stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje a na termokonvektivní svařování s působištěm přiváděného tepla na vnitřních stranách svařovaných materiálů v oblasti spoje.

Principy obou výše uvedených možností svařování jsou shodné s principy termokonduktivního svařování jen s tím rozdílem, že zdroj tepla tvoří místo vyhřívaných elementů různých charakterů různé trysky s horkým vzduchem.

I výrobou exotermických svařovacích strojů, kterými lze vytvářet mnoho typů bodových či kontinuálních spojů, se zabývá firma PFAFF (obr. 1.2.3) [1, 18].



Obr. 1.2.3 Kombinovaný svařovací stroj – PFAFF 8320:

Horký klín - PFAFF 8320 – 010/ Horký vzduch – PFAFF 8320 – 020 [18]

Kvalitu výsledného exotermického spoje ovlivňuje zejména spojovaný materiál, množství tepla přiváděného do vznikajícího spoje a doba, popř. rychlost svařování [1].

2 LEPENÍ

Na úvod této kapitoly je třeba upozornit na častou záměnu dvou odlišných technologických procesů – lepení a podlepování [2]. V případě nejasností odlišnosti procesů viz [1].

Tímto bezpochyby unikátním procesem spojování, nazývaným též jako adhezní spojování, vzniká za nezbytné účasti spojovacího prostředku (adheziva = lepidla), spojovaných materiálů (adherentů), případného patřičného tlaku či tepla buď trvalý nerozebíratelný spoj (nahrazuje sešívání, prošívání) nebo pomocný spoj (nahrazuje stehování, podrážení). Technologie lepení se však též velice hojně využívá zejména pro svoji jednoduchost i jako začišťovací metoda střížných okrajů či krajů. Takto vzniklé začištění má vždy pouze trvalý charakter.

Název adhezní spojování je odvozen od fyzikálního jevu adheze, kvůli kterému ke spojení může docházet. Z fyzikálního hlediska je totiž spojování lepením vysvětlované pomocí již zmiňované adheze a koheze. Adheze (přilnavost) je souhrn fyzikálních sil, kterými se vzájemně poutají částice různých hmot – adherentů a adheziva, tj. přilnavost adherentů k adhezivu. Koheze (soudržnost) je stav, při kterém drží molekuly nebo atomy v homogenní látce pohromadě, tj. vnitřní soudržnost adherentů či adheziva.

Díky neustálému pokroku chemie se mohlo během pár desítek let vyvinout (a neustále se vyvíjí) z původně nedostatečně rozvinuté palety spojovacích prostředků tisíce nejrůznějších typů (tuzemských či zahraničních) a jejich neméně důležitých směsí, které by byly schopny v daném technologickém spojení s adherenty (případně povrchově upravenými) uspokojit nově se rodící požadavky na vyráběné spoje. Vlastnosti použitých adhezivních prostředků by se tedy v ideálním případě měly plně shodovat s vlastnostmi adherentů. A proto se tyto (obvykle) makromolekulární látky vhodných deformačních schopností kvůli zjednodušení zvláště citlivého výběru pro konkrétní použití obvykle rozdělují do pěti základních skupin, podle požadavků, které jsou na ně kladeny. A to podle konzistence, původu (chemického složení), způsobu tuhnutí, mechanických a tepelných vlastností vrstvy a podle odolnosti v atmosféře a ve vodě. Za zmínku např. stojí i neméně důležitá dělení lepidel podle vzniklého spoje (účelu použití), odolnosti vůči stárnutí, odolnosti v praní a v chemickém čištění, ceny atd. Samozřejmě že důležitost požadavků pro dělení adheziv může být pro každý spoj

odlišná. Zde je uvedeno pouze dělení dle nejčastěji kladených požadavků na lepidla. První skupina tedy dělí adheziva podle konzistence na tuhá, polotuhá a tekutá. Druhá podle původu neboli chemického složení na organická (přírodní, syntetická – ta popř. dále na termoplastická a reaktoplastická), anorganická a smíšená. Třetí pak podle způsobu tuhnutí na reaktivní (jednosložková, dvousložková, vícesložková) a na nereaktivní (roztoková, disperzní, taveninová, stálolepivá). Předposlední podle mechanických a tepelných vlastností vrstvy na elastomerová, plastomerová a duromerová. A poslední skupina rozděluje lepidla podle odolnosti v atmosféře a ve vodě na spojovací prostředky neodolné proti vodě, krátkodobě odolné proti vodě a trvale odolné proti vodě. I přes fakt, že adheziva tekuté konzistence jsou nejlepivější, se nejběžněji pro účely oděvní výroby používají prostředky tuhé či méně používané polotuhé konzistence. A to nejen pro svoji snadnější aplikaci, ale i pro svoji vyšší viskozitu v roztaveném stavu, jenž zabraňuje pronikání adheziva na povrchy adherentů a tím znehodnocení oděvního výrobku. Zatímco pro tvorbu běžných trvalých nerozebíratelných spojů jsou nejčastěji využívána stálá (trvalá) termoplastická lepidla tuhé konzistence ve formě prášků a teplotou měknutí optimálně mezi 100 – 120°C (nesmí přesáhnout teplotu měknutí spojovaných materiálů), tak pro tvorbu pomocných spojů se nejčastěji využívají dočasné (pomocné) konzistenčně polotuhé spojovací prostředky. Hluběji se rozdělením a typy adheziv zabývají především literární publikace [1, 6]. Avšak nejen adheziva jako taková, ale i způsob jejich nanášení na povrchy adherentů se podílí na konečné kvalitě spoje. Obecně pro spojování lepením platí, méně znamená lépe. Je to však myšleno ve smyslu tloušťky a ne přerušování souvislosti nánosu [1].

Záběr spojovaných materiálů vhodných pro lepení je opravdu široký. Lze totiž slepovat téměř každou textilií (ideální materiál), kůži apod. Sice mechanická teorie lepení, se kterou r. 1926 přišli vědci Mc Bain a Hopkins, tvrdí, že slepovat lze jen porézní materiály, ale toto tvrzení r. 1942 vyvrací skupina vědců – Josefovitz, Mark, Žukov, Talmud a Vojutskij s jejich teorií difúzní (literaturou [1] nazývanou jako specifická). Ta totiž přináší důkazy o možnostech vytváření velice pevných spojů i u materiálů s vyleštěnými povrchy. Lepit dohromady lze materiály nejen stejné, ale i druhově zcela odlišné. Některé adherenty, resp. jejich povrchy, je zapotřebí před započetím lepení upravit (zvýšit jejich smáčivost vůči lepidlu). Mohou být totiž např. již z výroby opatřeny povrchovou úpravou nevhodnou k tomuto způsobu spojování nebo mohou být mastné, jako je tomu u adherentů z živočišných vláken – vlny apod. Bez

provedení úpravy takovýchto stávajících povrchů by nemuselo ke spojení dojít buď vůbec, anebo by byla značně snižena výsledná kvalita spoje (smáčivost povrchů je malá, a nanesené lepidlo má proto vysoké povrchové napětí, tzn., že má tendenci tvořit kapky, a tudíž přerušovat plynulost nánosu, jelikož nemůže navázat intenzivní kontakt se spojovanými materiály). Úpravou však není myšleno vytvoření naprosto chemicky čistých povrchů. To by bylo velmi obtížné a u materiálů živočišného charakteru dokonce i nemožné (mění se vlastnosti – zejména omak). Možností úprav je celá řada. Dělí se nejčastěji do čtyř základních skupin, a to na mechanické, chemické, elektrochemické (téměř shodné s chemickými úpravami, ale lépe říditelné) a fyzikální. Z první skupiny, tj. z úprav mechanických, se nejčastěji využívá metoda obrušovací (zejména jemná abrazivní neboli plošná), z úprav chemických a elektrochemických metoda leptací a z poslední skupiny úprav fyzikálních metoda ozařovací, která se uskutečňuje různými typy záření, jako je např. infračervené, ultrafialové, laserové atd. Opět jsou zde uvedeny od každé skupiny pouze nejčastěji využívané metody úprav povrchů adherentů, ale rozhodně však nejsou jediné – viz [6].

Jak již bylo zmíněno, slepovat lze téměř každý materiál. Musí však pro něj existovat lepidlo podobných (v ideálním případě stejných) vlastností. Jelikož jsou textilní materiály, na rozdíl od konstrukčních, opravdu velice různorodé, nebyla proto doposud vynalezena lepidla pro všechny druhy. Právě kvůli různorodosti textilních materiálů, a s ní i nezbytně spojené různorodosti lepidel, nelze rutinně určit potřebu, popř. velikost činitelů ustálení spojů, tj. tlak, teplo, čas apod. Tyto parametry jsou totiž většinou pro každý spoj odlišné a získávají se na podkladě hlubokých teoretických znalostí a nesčetných studií. Proto se není čemu divit, že většina firem, jež tuto technologii využívá, nemá volně přístupné lepící místnosti a tají své know how. Ale i přes zdoluhavé a náročné předvýrobní procedury se vyplatí tuto dokonalou metodu spojování provádět a hledat její další praktická uplatnění, a to zejména pro své jedinečné působení na polích designu a funkčnosti.

Lepením mohou vznikat dva druhy plošných, obvykle heterogenních (rozlišné chemické složení adheziva a adherentů) spojů, a to bodové a kontinuální. Pro spojovací účely v oděvní výrobě jsou nejoblíbenější kontinuální plošné spoje, zatímco bodové jsou spíše využívány k opravárenské činnosti již vzniklých spojů.

Kontinuální lepené spoje se tedy nejčastěji aplikují na výrobky, od kterých se požaduje absolutní nepropustnost vůči vodě a plynům – např. pláště či bundy do deště, neoprenové obleky, ochranné oděvy pro hasiče atd. S dokonalým výsledkem jimi lze

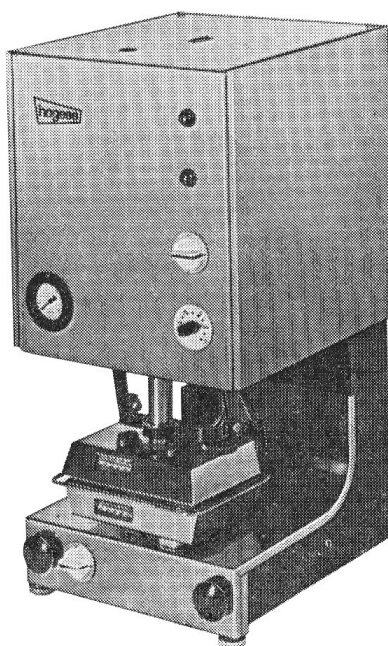
také aplikovat zdrhovadla u kapes (obr. 2.1), předních krajů apod., či různé záplaty neboli tzv. „fleky“ (obr. 2.2) a protektory. Tvorba těchto spojů však vyžaduje velkou manuální zručnost. Lepených spojů již řadu let také využívá svými outdoorovými výrobky proslulá firma Directalpine. O výrobu lepících strojů se dlouhá léta pokoušelo mnoho výrobců. Avšak většinou se nesetkávali s úspěchem. Teprve až cca v 90. letech 20. století (a poměrně na dlouhou dobu) uspokojil požadavky na lepící stroje věhlasný Hogemat KP 8 (obr. 2.3) z tehdejší NDR (Německá demokratická republika, tzv. „východní Německo“ – do r. 1990). Dnes patří mezi nejpřednější výrobce lepících zařízení asijská firma H&H Asia Group Ltd. (obr. 2.4), jejichž stroje používá i zmíněná firma Directalpine.



Obr. 2.1 Aplikace zdrhovadel u kapes firmou Directalpine [12]



Obr. 2.2 Aplikace krycí záplaty („fleku“) firmou Directalpine [12]



Obr. 2.3 Lepící stroj - Hogemat KP 8 [1]



a



b

Obr. 2.4 Lepící lisy pro oděvní průmysl nabízené firmou H&H Asia Group Ltd.:
a)Pneumatický plošný lis - model CS 500, b)Pneumatický plošný lis – model CS 500 B [22]

3 NÝTOVÁNÍ

Nýtování textilních či kožedělných výrobků a materiálů je literaturou velice opomíjený technologický proces. Vzniká při něm nerozebíratelný spoj za přítomnosti spojovaných materiálů, spojovacího materiálu (nýt, spojovací páska) a nepatrného tlaku (nýtovací stroj, lis), který spojovací materiál nepoškodí, ale pouze zatlačí do spojovaných materiálů [1, 3, 23]

Při tomto procesu mohou vznikat bodové či kontinuální spoje [1]. Druh spoje závisí na použitém spojovacím materiálu. Má-li vzniknout spoj bodový, musí být použit nýt. Naopak, má-li vzniknout spoj délkový, musí být použita tzv. spojovací páska [1, 3]. Samozřejmě že obě skupiny spojovacích součástí kladou na způsob montáže odlišné nároky. V případě bodového spoje se nýt upevňuje speciálním nýtovacím strojem, zatímco u kontinuálního spoje páskou, nýtovacím lisem [24].

Jak již bylo zmíněno, pro vytvoření bodového spoje je zapotřebí spojovacího materiálu nýtového charakteru. Tento element bývá obvykle dvojdielná dutá mechanická součást zhotovována nejčastěji z hliníku, mědi, mosazi, atd. Spoj je vytvořen po vsunutí obou dílů součásti do sebe skrze předem perforované spojované materiály a po stlačení strojem [23]. Tento typ spoje není v oděvním průmyslu žádnou novinkou. Už víc jak sto let plní zajišťovací funkci namáhaných částí oděvu proti vytržení. První nýt byl na oděvní výrobek aplikován v 2. polovině 19. století nevadským krejčím Jacobem W. Davisem (obr. 3.1). Ten umisťoval nýty (obr. 3.2) do namáhaných rohů kapes (obr. 3.3) pracovních kalhot pro zlatokopy (období kalifornské zlaté horečky) a doplňoval je specifickým stehovým designem. Jeho nápad měl velký úspěch, a tak Davis začal uvažovat o patentu. Z důvodů nedostatečných financí musel požádat bohatého německého výrobce pracovních kalhot z bavlny v keprové vazbě (denim = džínovina) Leviho Strausse (vlastním jménem Loeba Strausse) o pomoc s příslibem spoluautorství. Ten nadšeně souhlasil a patent jim byl 20. května 1873 uznán. Právě díky nýtování se zrodily všem jistě dobře známé džíny – Levi's jeans („Levisky“) [1, 4, 23]. V současné době se nýty neaplikují na oděvy jen za účelem vytvoření spoje, ale stávají se čím dál více běžným a neodmyslitelným módním prvkem. Nýty, nazývané v oděvním, obuvnickém, čalounickém a brašnářském průmyslu jako „cvočky“, se proto zhotovují v různých efektních provedeních (tvar, materiál, barva, kombinace se štrasem atd.) a

umísťují se nejčastěji na oděvy sportovního či vycházkového typu v různě seskupených obrazcích [23].



Jacob W. Davis

Obr. 3.1 Jacob W. Davis (1831 - 1908) [25]

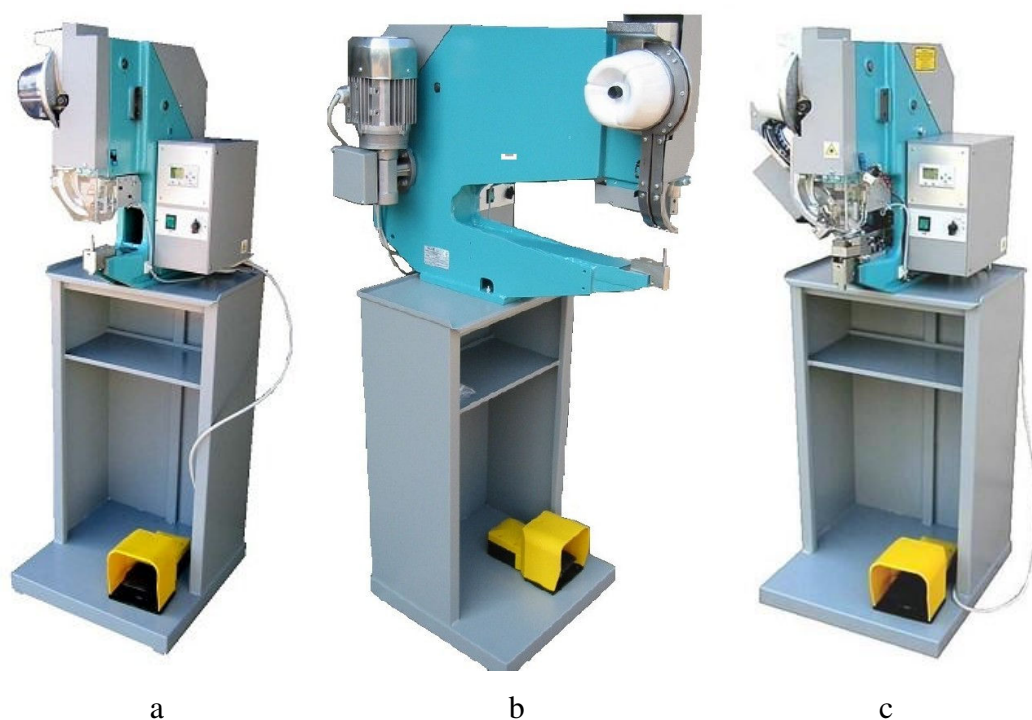


Obr. 3.2 Nýt na džíny



Obr. 3.3 Namáhaná místa kapes kalhot zpevněná dřínovými nýty - pohled z lícové a rubové strany kalhot

Jedním z předních výrobců nýtovacích strojů (obr. 3.4), ale i dalších strojů a zařízení sloužících k montáži drobných kovových elementů, zejména pro oděvní, kožedělný či obuvnický průmysl, je již od roku 1994 známá italská firma SICoM srl [24].



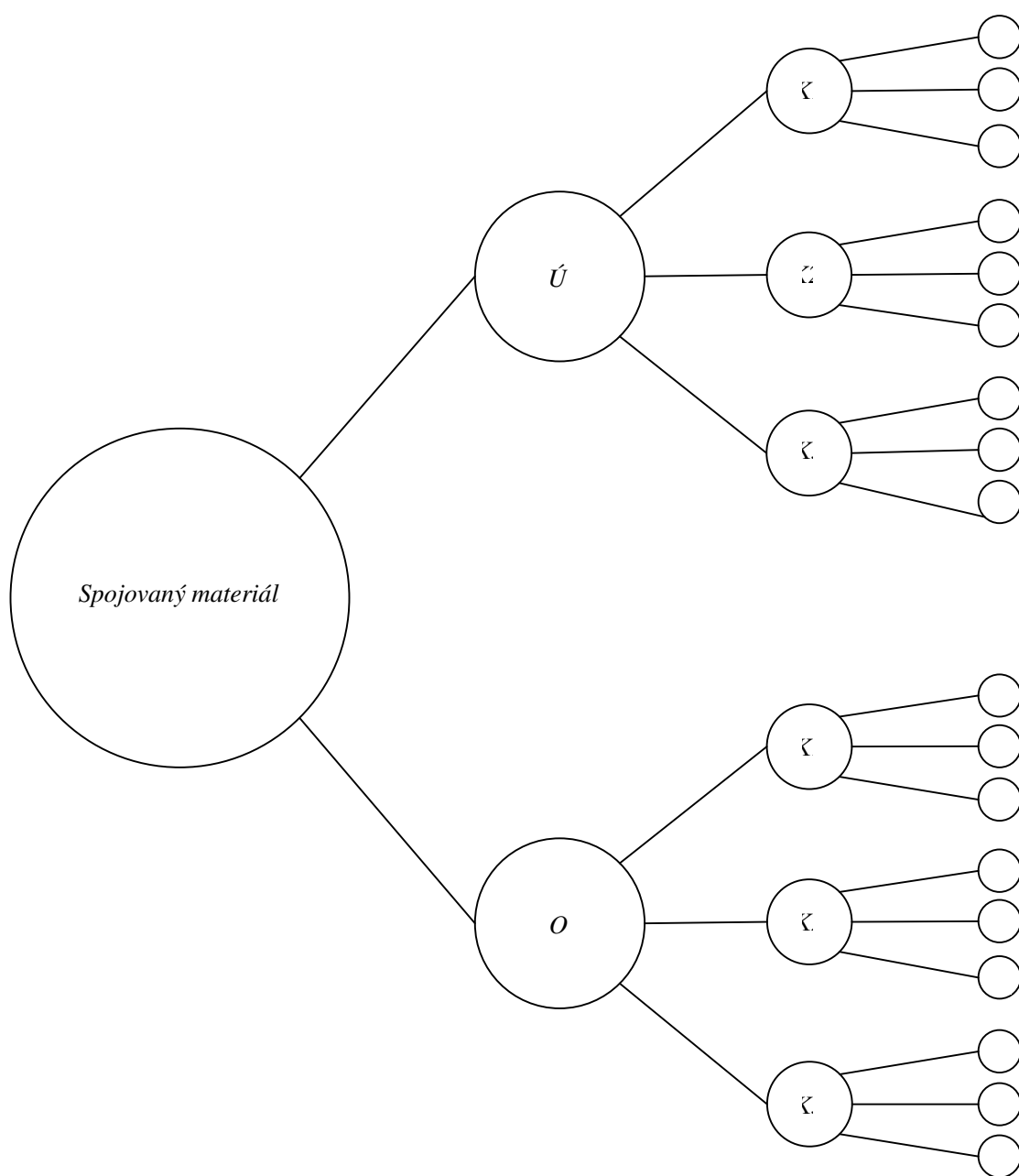
Obr. 3.4 Nýtovací stroje pro oděvní a kožedělný průmysl nabízené firmou SICoM srl :
a) Automatický nýtovací stroj – model M11R-E (oděvní a kožedělný průmysl), b) 500mm - automatický nýtovací stroj – model M15R-E (oděvní a kožedělný průmysl), c) Automatický dvoj-nýtovací stroj – model M22R-E (kožedělný průmysl) [24]

V posledních letech voděnepropustné nýtování dostává výslovně spojovací charakter, a to díky kontinuálním spojům. Spojovací materiál, používaný pro tento druh spojování, je ve formě tzv. spojovací pásky, což znamená, že je nekonečně dlouhý, popř. předem připravený dle délky vytvářeného spoje. Avšak kvůli rozličné tuhosti spojovaných a spojovacího materiálu (výrobek je v místě lisovaného spoje neohebný) se tento typ nýtování může praktikovat jen u hrubých materiálů zejména na technické účely, nejčastěji pro spojování různých pásů či popruhů [1].

EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4 CHARAKTERISTIKA EXPERIMENTU

Návrh experimentu k určení vlivu tvaru kolečka (při spojování ultrazvukem) na kvalitu spoje (pro lepší názornost obr. 4.1) spočívá ve spojování třech druhově různých materiálů pro potřeby automobilového průmyslu ve směru útku (na obr. 4.1 značen jako Ú) a osnovy (na obr. 4.1 značena jako O) třemi různými profily spojovacích kotoučů (na obr. 4.1 značeny jako K1, K2, K3) při trojím různém nastavení parametrů svařování (na obr. 4.1 značeny jako P1, P2, P3) na ultrazvukovém svařovacím stroji.



4.1 Spojované materiály

Materiály pro účely experimentu poskytla Strakonická firma. FEZKO THIERRY, a.s., která se od r. 2001 orientuje výhradně na výrobu a distribuci textilií pro dopravní prostředky.

Z jejich pestrého výrobního sortimentu byly zvoleny tři druhy pevných potahových materiálů pro účely výroby automobilových sedadel (tab. 4.1.1). Aby záběr zkoumaných oblastí mohl být co nejširší, byly vybrány takové dva materiály, které měly stejnou plošnou hmotnost, a třetí materiál, který se tímto parametrem lišil. Zároveň dva z těchto tří materiálů měly shodnou vazbu, ale nejednalo se o ty samé materiály, které se již předtím shodovaly v plošné hmotnosti.

Z výše uvedených materiálů bylo od každého druhu následovně nastříháno 45 vzorků ve směru útku a 45 ve směru osnova, při čemž jeden vzorek se skládal ze dvou identických částí o rozměrech 50 x 160mm. Po spojení těchto částí měl svařený vzorek rozměry dle české technické normy ČSN EN ISO 13934 – 1: Textilie – Tahové vlastnosti plošných textilií – Část 1: Zjišťování maximální síly a tažnosti při maximální síle pomocí metody Strip, tj. 50 x 300mm.

Tab. 4.1.1 Spojované materiály pro účely experimentu

Spojovaný materiál	Druh - - desén	Složení	Vazba	Plošná hmotnost ρ_s [kg m ⁻²]
	KIRA	100% PES	plátňová	0,26
	FADUN	100% PES	keprová	0,26

	AMORUN	100% PES	keprová	0,22
--	--------	----------	---------	------

4.2 Ultrazvukový svařovací stroj

Ke spojování vzorků docházelo na ultrazvukovém svařovacím stroji od německé firmy, jež je známá téměř celá tři století, PFAFF a to PFAFF 8310 (obr. 4.2.1) v laboratoři nekonvenčního spojování na katedře oděvnictví.



Obr. 4.2.1 Ultrazvukový svařovací stroj PFAFF 8310:

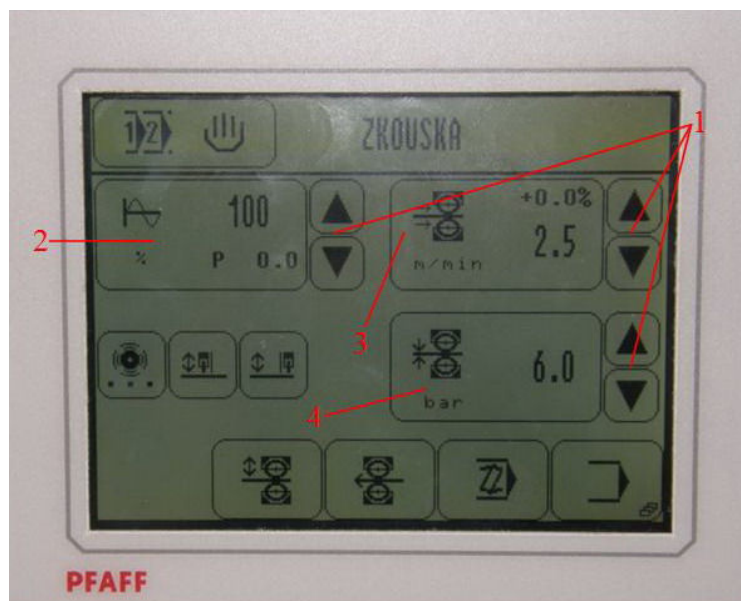
1 – sonotrodová tyč s horní sonotrodou, 2 – dolní sonotroda, 3 – šroub pro nastavení přitlaku svařovaného materiálu, 4 - aretační šroub, 5 – rameno stroje, 6 – dotykový displej, 7 – spínač stroje, 8 – základová deska stroje, 9 – stojan, 10 – nožní ovladač, 11 – pracovní deska, 12 – šuplík na příslušenství ke stroji, 13 – elektromotor a elektroinstalace, 14 – osvětlení stroje

Před započetím samotného svařování předem připravených vzorků se nejprve musel stroj připojit, zapnout, nastavit a následovně nasadit a upevnit spojovací kotouč.

Jelikož je pohyb sonotrodové tyče (obr. 4.2.1 - 1) řízen pneumaticky, musel být na ventil stroje připojen kompresor nasazením a zapnutím hadice (modrá objímka vytažená u ventilu nahoře). Po zkontrolování bezpečnosti zapnutí hadice kompresoru a uvedení kompresoru do chodu bylo následovně provedeno nezbytné ověření nastavení tlaku na redukčním ventilu. Jeho správná hodnota má činit min. 6 bar. Pak už jen stačilo stroj připojit na zdroj elektrického napětí.

Pakliže se po chvíli vyčkání od zapnutí stroje otočením červeného spínače (obr. 4.2.1 - 7) doprava z pozice 0 do pozice 1 načel dotykový displej (obr. 4.2.1 - 6) a po kontrolním sešlápnutí nožního ovladače (obr. 4.2.1 - 10) do pozice 1 (celkem 4 pozice, pozice 2 = klidová) sonotrodová tyč vyjela směrem nahoru (výchozí pozice sonotrodového ramena byla po celý průběh experimentu dole), bylo připojení provedeno úspěšně.

Nastavení parametrů svařování se provádí pomocí dotykového displeje. Stiskem ikony v levém horním rohu displeje došlo k zobrazení menu (obr. 4.2.2), ve kterém se pomocí ikon se symboly šipek (obr. 4.2.2 - 1) nastavily požadované hodnoty svařovacích parametrů. Těmito parametry jsou výkon stroje v % (obr. 4.2.2 - 2), rychlost svařování v m/ min (obr. 4.2.2 - 3) a tlak sonotrod při svařování v bar (obr. 4.2.2 - 4).



Obr. 4.2.2 Dotykový displej - menu:

1 – ikony pro zadávání hodnot svařovacích parametrů, 2 – výkon stroje (první svařovací parametr), 3 – rychlost svařování (druhý svařovací parametr), 4 – tlak sonotrod při svařování (třetí svařovací parametr)

Výkon stroje lze nastavit v rozmezí od 50 do 100 %, rychlost svařování od téměř nehybné rychlosti 0,1 až do 10m/ min a tlak sonotrod při svařování od 1 do 6 bar. Poslední, co se na stroji muselo nastavit, byl přítlak svařovaného materiálu. Ten se nastavuje pomocí zaaretovaného šroubu (obr. 4.2.1 - 3) na levé straně ramena stroje. Nejprve se musel povolit aretační šroub (obr. 4.2.1 - 4). Dále se vložil spojovaný materiál pod horní sonotrodu zvednuté sonotrodové tyče a pak se tyč spustila. Šroubem se nastavila vzdálenost horní sonotrody od spodní a tyč se znovu zvedla. Pak už se jen výsledné nastavení zajistilo utažením aretačního šroubu. Vzdálenost horní sonotrody od spodní lze nastavovat v rozmezí od 0 do 1mm.

Poslední krok před započítím spojování spočíval tedy, jak již bylo na začátku podkapitoly zmíněno, v nasazení a upevnění spojovacího kotouče (př. spojovacích kotoučů v tab. 4.2.2.1) na horní kruhovou rotační sonotrodu (obr. 4.2.3 - 1). Upevnění kotouče bylo velice snadné a rychlé. Provedlo se pomocí speciálního klíče, který je součástí příslušenství stroje.



Obr. 4.2.3 Sonotrody:

1 – horní sonotroda, 2 – dolní sonotroda

Před spojením vzorku byla sešlápnutím nožního ovladače do pozice 1 zvednuta sonotrodová tyč, dále byly obě části vzorku přiloženy lícem k sobě, urovnány a vloženy stranami, na kterých mělo dojít ke spojení, do mezery mezi spojovací kotouč na horní sonotrodě zvednuté sonotrodové tyče a dolní sonotrodu (obr. 4.2.1 – 2, 4.2.3 - 2). Poté se sešlápnutím nožního ovladače do pozice 3 spustila sonotrodová tyč a dalším sešlápnutím do pozice 4 došlo ke svařování vzorku.

Po dokončení svařování byl stroj vypnut a odpojen od zdroje elektrického napětí. Následovně byl zastaven i přívod vzduchu vypnutím kompresoru a rozepnutá a odpojená hadice od ventilu stroje (modrá objímka stažená u ventilu dole).

4.2.1 Parametry svařování

Výsledné parametry svařování pro účely experimentu (tab. 4.2.1.1) byly krom rychlosti svařování stanoveny až po provedení mnoha orientačních pokusů.

Rychlost svařování se stanovila jako první. Cílem stanovení tohoto parametru bylo simulovat podmínky průmyslové výroby. To znamená, že se výsledná hodnota

parametru měla co nejvíce přibližovat (ba v ideálním případě shodovat) s hodnotou rychlosti stroje zařazeného do běžného chodu průmyslové výroby. Svařovací rychlost nesměla být tedy ani příliš pomalá, ale zároveň ani nezvladatelná pro průměrnou obsluhu stroje. Na základě mé vlastní zkušenosti byla proto zvolena rychlost 2,5m/min. Tato rychlost svařování byla shodně stanovena pro všechny tři varianty svařovacích parametrů experimentu.

Aby mohly být stanoveny hodnoty zbývajících dvou parametrů, a to výkonu stroje a tlaku sonotrod při svařování, musela proběhnout řada předběžných orientačních spojování. Díky těmto pokusům se došlo k závěru, že pevného spoje u zvoleného typu materiálu lze docílit jen tehdy, jsou-li vzájemně propojeny obě části vzorku všemi jeho třemi vrstvami (tkanina, pěna, pletenina). Při již zvolené rychlosti svařování 2,5m/min toho šlo dosáhnout jen při velmi silném stlačení vzorku, což urychlilo přenos svařovací energie materiálem. I když byl však tlak sonotrod při svařování nastaven na maximum o hodnotě 6 bar, tak i přesto musela být hodnota výkonu stroje nastavena minimálně na 90 %, aby došlo ke spoji, který by nebyl snadno roztržitelný pouhými rukama. Jelikož 90% výkon je už dost vysoká hodnota při maximálním možném stlačení materiálu, byl proto tlak sonotrod při svařování pro všechny tři varianty svařovacích parametrů pevně stanoven na maximální hodnotu, a to 6 bar. První hodnota výkonu byla tedy stanovena na 90 %, což je dle předchozích poznatků z pokusů první možné nastavení pro relativně pevný spoj. Další dvě varianty výkonu byly stanoveny jako horní krajní hodnota možného nastavení, a to tedy 100 %, a hodnota mezi těmito dvěma výkony, což je 95 %.

Tab. 4.2.1.1 Parametry svařování pro účely experimentu

	P1	P2	P3
Výkon stroje [%]	90	95	100
Rychlost svařování [m/min]	2,5	2,5	2,5
Tlak sonotrod při svařování[bar]	6	6	6
Vzdálenost mezi sonotrodami [mm]	0	0	0

4.2.1.1 Přítlak svařovaného materiálu



Jak již bylo zmíněno u stanovování parametru tlak sonotrod při svařování, pro vytvoření spoje, který by nebyl snadno roztržitelný rukama, je zapotřebí co nejvíce stlačit svařovaný materiál. A proto bylo z logických důvodů ihned rozhodnuto, že i parametr přitlak svařovaného materiálu musí být nastaven na svoji maximální hodnotu. Aby toho mohlo být docíleno, musela být stanovena hodnota zdvihu sonotrodového ramena (vyvozuje přitlačnou sílu) ve výchozí pozici, tj. vzdálenosti mezi sonotrodami na své minimum což činí 0 mm. Jelikož tlak sonotrod při svařování byl po celý průběh experimentu neměnný, tak se i s touto stanovenou hodnotou po zbytek práce nehýbalo (tab. 4.2.1.1).

4.2.2 Spojovací kotouče

Spojovací kotouče jsou dostupné v mnoha různých motivech a šířích. Katedra oděvnictví ke stroji vlastní osm různých kotoučů, z nichž tři jsou tzv. Cut & Seal, dva jsou hladké bez motivu a tři mají různé plastické motivy. Orientační pokusy ukázaly, že jako jediné z těchto osmi profilů dokážou svařit spojované materiály pro účely experimentu spojovací kotouče s plastickými motivy na spojovací ploše. Právě s těmito spojovacími kotouči se dále pokračovalo při samotném experimentu (tab. 4.2.2.1).

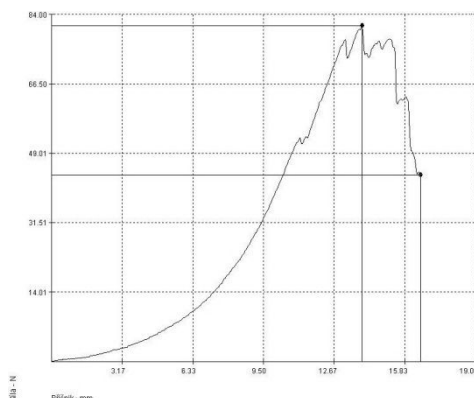
Tab. 4.2.2.1 Spojovací kotouče pro účely experimentu



<p>K2</p>	 <p>The image shows two views of a brass gear. On the left is a side profile view of a cylindrical gear with a series of teeth. On the right is a top-down view of the same gear, showing a circular face with a central hole and a ring of teeth around the perimeter. The gear has a polished, golden-brown finish.</p>
<p>K3</p>	 <p>The image shows two views of a brass gear, similar to the one in the first row. On the left is a side profile view of a cylindrical gear with a series of teeth. On the right is a top-down view of the same gear, showing a circular face with a central hole and a ring of teeth around the perimeter. The gear has a polished, golden-brown finish.</p>

5 CHARAKTERISTIKA ZKOUŠENÍ

Zkoušení spočívalo v postupném upínání jednotlivých spojených vzorků do čelistí pracovního prostoru trhačního stroje (dynamometru) a v jejich následovném namáhání v tahu. Absolutní síly a na nich závislé absolutní deformace vzniklé ve spojovaných vzorcích natahováním při zkoušení byly po celou dobu měřeny měřícím členem trhačního stroje (tenzometrem) a současně registrovány. Zároveň byl průběh jejich závislostí vykreslován deformačními křivkami do grafů (obr. 5.1).



Obr. 5.1 Graf závislosti absolutní síly na absolutní deformaci

Po celou dobu se zkoušení řídilo českou technickou normou ČSN EN ISO 13935 – 1: Textilie - Tahové vlastnosti švů plošných textilií a konfekčních výrobků – Část 1: Zjišťování maximální síly do přetrhu švu metodou Strip.

5.1 Spojené vzorky

Spojené a řádně označené vzorky ležely po provedení experimentu týden v klimatizované místnosti laboratoře fyziologického komfortu na katedře oděvnictví.

Klimatické podmínky v této místnosti se řídí českou technickou normou ČSN EN 20139: Textilie. Normální ovzduší pro klimatizování a zkoušení. V den uložení činily dle kombinovaného měřicího přístroje řady Almemo:

- teplota vzduchu (t) = 22°C
- vlhkost vzduchu (φ) = 63 %

5.2 Trhací stroj

Ke zkoušení spojených vzorků docházelo ve spodním pracovním prostoru (obr. 5.2.2) trhacího stroje LabTest 2.05 (obr. 5.2.1) v laboratoři fyziologického komfortu na katedře oděvnictví.



Obr. 5.2.1 Trhací stroj LabTest 2.05



Obr. 5.2.2 Horní a dolní čelist spodního pracovního prostoru

6 VÝSLEDKY A DISKUSE

K vyhodnocení experimentální části této bakalářské práce jsem využívala absolutních hodnot naměřených při prvních porušení spojů zkoušených vzorků, tj. síly $F_{\min.}$ [N] (tab. P2 – P4) a deformace $\Delta l_{\min.}$ [mm] (tab. P5 – P7). Logicky dochází ke znehodnocení výrobku, v tomto případě automobilového sedadla, již při prvním porušení spoje jeho pevného potahu.

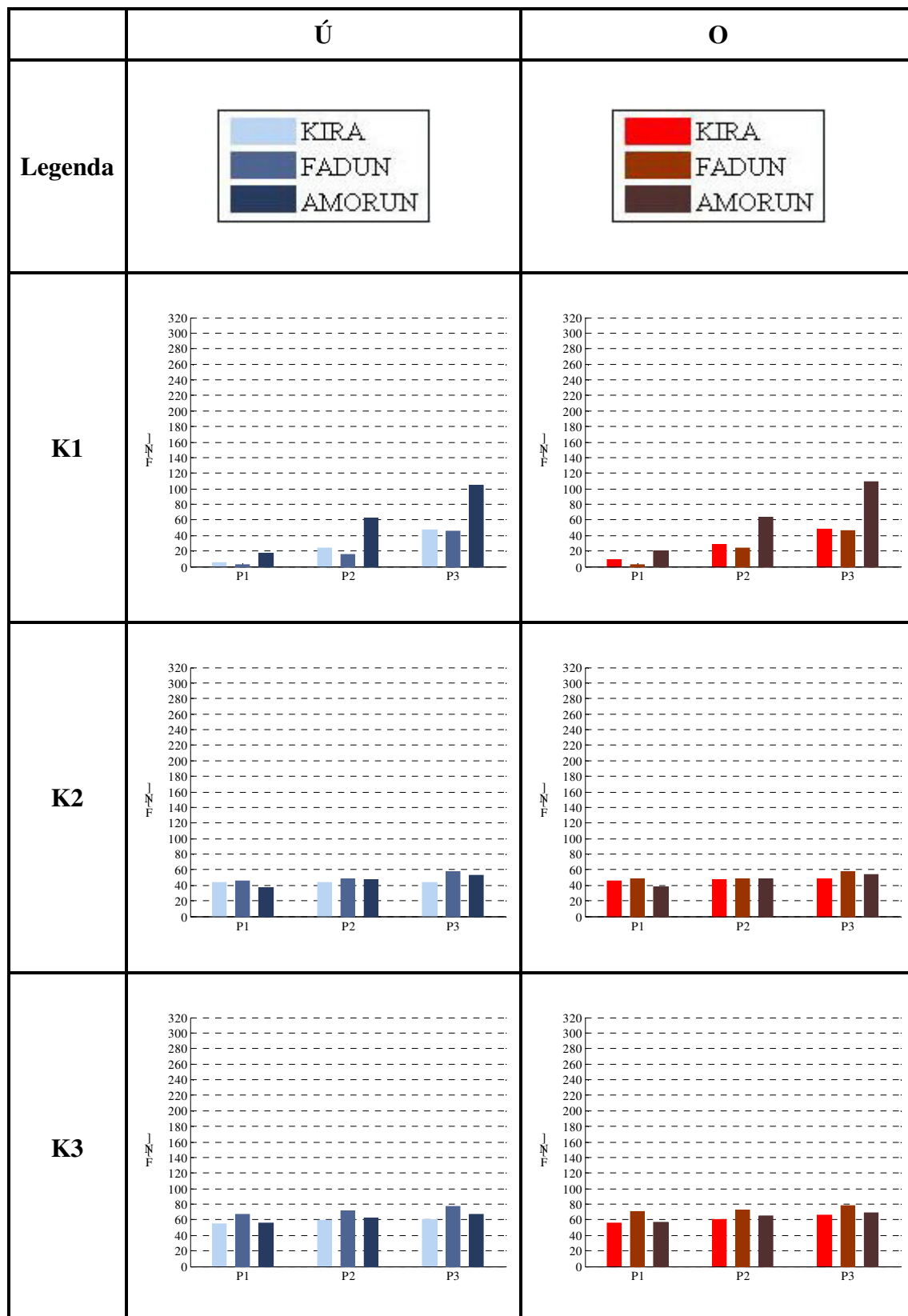
Například společnost Johnson Controls, která se mimo jiné zabývá výrobou pokrokových automobilových interiérů, klade na kvalitu spoje požadavky pouze z hlediska odolnosti vůči tahové síle (pevnosti v tahu). Spoje pevných potahových materiálů u automobilových sedadel musí být schopny odolávat absolutní síle o velikosti 320N [26]. Porovnáním průměrných hodnot absolutních sil při prvních porušeních spojů naměřených v rámci experimentu (tab. 6.1) s touto hodnotou jsem došla k naprosto evidentnímu závěru, že žádný typ vytvořených spojů, a to ani u jednoho ze spojovaných materiálů, zdaleka nevyhovuje tomuto požadavku.

Tab. 6.1 Průměrné hodnoty naměřených absolutních sil při prvních porušeních spojů – $F_{\min.}$ [N]

		P1		P2		P3	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O
K1	KIRA	5,15	8,54	23,84	28,23	47,00	47,99
	FADUN	2,35	2,43	15,27	23,48	45,43	46,63
	AMORUN	17,24	20,01	61,80	63,12	104,06	109,02
K2	KIRA	43,70	45,68	43,78	46,94	43,95	47,84
	FADUN	45,61	47,95	48,02	48,07	57,15	57,84
	AMORUN	36,93	37,48	47,53	48,58	53,16	53,98
K3	KIRA	54,62	55,36	59,60	60,35	60,56	66,38
	FADUN	67,26	70,66	71,15	72,19	76,99	77,90
	AMORUN	56,13	56,27	62,54	64,73	66,78	68,53

Pro lepší názornost jsem vytvořila grafické porovnání těchto průměrných hodnot zkoušených spojů s hodnotou požadovanou společností Johnson Controls (tab. 6.2).

Tab. 6.2 Grafické porovnání průměrných hodnot naměřených absolutních sil jednotlivých spojovaných materiálů při prvních porušeníh spojů v závislosti na změně parametrů svařování s absolutní silou 320N, které musí spoje odolávat dle společnosti Johnson Controls



6.1 Pevnost spojů v tahu

Vyhodnocením průměrných hodnot pevností spojů v tahu (tab. 6.1.1) jsem došla k výsledku, že z celého experimentu této bakalářské práce zaručeně nejvyšší průměrnou pevnost v tahu vykazují spoje materiálu AMORUN vytvořené spojovacím kotoučem K1 při parametrech svařování P3. Průměrná pevnost takto vytvořených spojů v tahu ve směru útku spojovaného materiálu činí $473,01\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ a ve směru osnovy $495,54\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$.

Spoje materiálů FADUN a KIRA vykazují nejvyšší průměrné pevnosti v tahu, když jsou vytvořeny spojovacím kotoučem K3 při parametrech svařování P3. Průměrná pevnost takto vytvořených spojů ve směru útku materiálu FADUN v tahu činí $296,12\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ a ve směru osnovy $299,62\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ a ve směru útku materiálu KIRA $232,92\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$ a ve směru osnovy $255,32\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$.

Tab. 6.1.1 Průměrné hodnoty pevností spojů v tahu - f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$] (tab. P14 – P16)

		P1		P2		P3	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O
K1	KIRA	19,79	32,83	91,68	108,59	180,76	184,56
	FADUN	9,05	9,35	58,75	90,31	174,73	179,34
	AMORUN	78,36	90,96	280,89	286,92	473,01	495,54
K2	KIRA	168,09	175,68	168,38	180,55	169,05	183,98
	FADUN	175,44	184,44	184,69	184,88	219,82	222,48
	AMORUN	167,87	170,38	216,04	220,83	241,65	245,35
K3	KIRA	210,09	212,94	229,24	232,11	232,92	255,32
	FADUN	258,68	271,77	273,66	277,66	296,12	299,62
	AMORUN	255,13	255,76	284,28	294,23	303,55	311,52

Porovnáním výše uvedených výsledků první vlastnosti určující kvalitu spojů s hodnotou vyžadovanou společností Johnson Controls jsem došla k závěru, že průměrná pevnost spojů v tahu vytvořených ve směru útku materiálu AMORUN činí 33 % a ve směru osnovy 34 %, ve směru útku i osnovy materiálu FADUN 24 %, ve směru

útku materiálu KIRA pouhých 19 % a ve směru osnovy 21 % z této již zmiňované vyžadované hodnoty.

Jak dokazují výsledky, nejpevnějších spojů v tahu jsem shodně dosáhla u všech materiálů použitých pro účely experimentu při spojování s nastavenými parametry svařování P3. Z grafického vyhodnocení průměrných pevností v tahu spojů jednotlivých spojovaných materiálů z hlediska nastavení parametrů svařování - výkon stroje [%] (tab. 6.1.2) lze konstatovat, že průměrné pevnosti spojů v tahu, a to u všech spojovaných materiálů, vzrůstají se zvyšujícím se výkonem stroje. Avšak i při nastavení maximálního možného výkonu stroje se neustále ani zdaleka nepřibližuje pevnost těchto spojů hodnotě pevnosti v tahu požadované společností Johnson Controls. Jelikož výkon stroje už více zvýšit nejde, musela by se pro dosažení vyšších pevností spojů v tahu snížit rychlost svařování [m/min], což by ale zároveň snížilo produktivitu výroby.

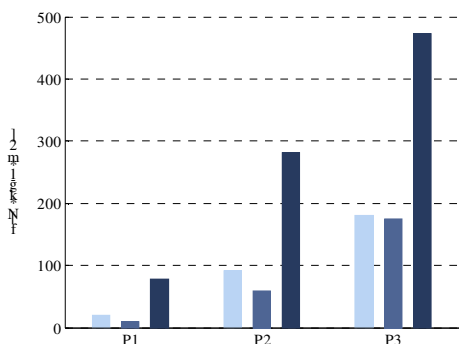
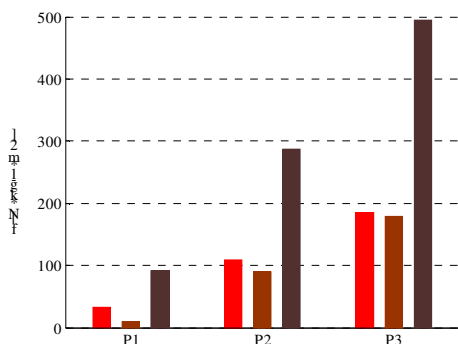
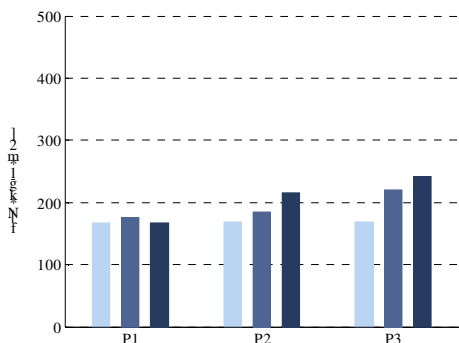
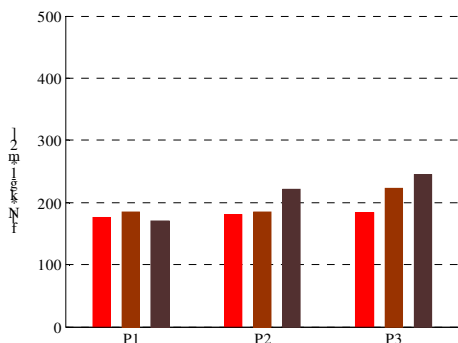
Vliv zvyšujícího se výkonu na pevnosti spojů v tahu je nejvíce viditelný u spojů vzniklých spojovacím kotoučem K1. Důvodem je menší hloubka plastického motivu na spojovací ploše oproti zbývajícím dvěma spojovacím kotoučům. Během experimentu jsem prakticky dokázala, že větší plastičnost motivů na spojovacích plochách zbývajících dvou spojovacích kotoučů způsobuje ještě silnější stlačení spojovaných materiálů, a to i přes absolutně identické nastavení parametrů svařování. V materiálech se zvyšuje rychlost přenosu svařovací energie, lépe se nataví, a vzniká tudíž pevnější spoj.

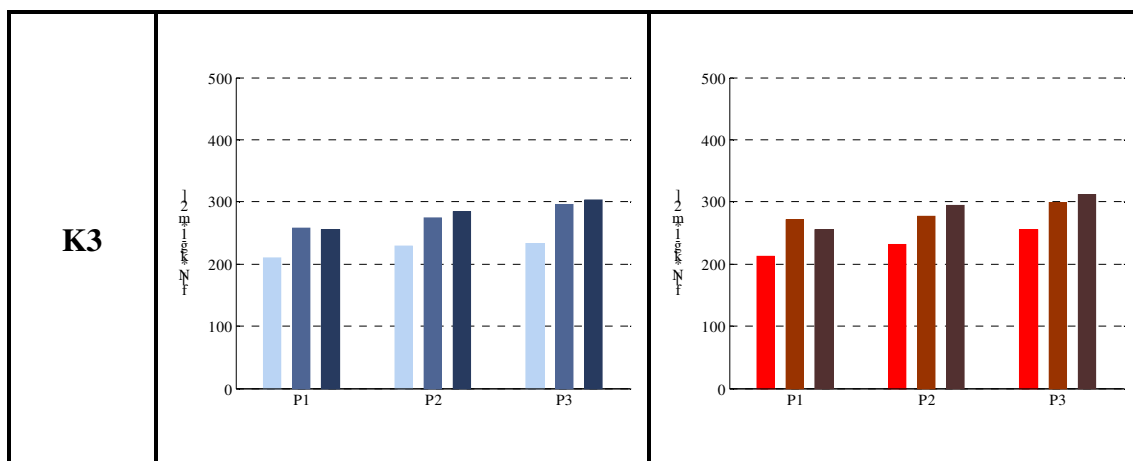
Z pohledu na grafické vyhodnocení nejvyšších dosažených průměrných hodnot pevností v tahu spojů jednotlivých spojovaných materiálů z hlediska použitého profilu spojovacích kotoučů (tab. 6.1.3) je zřejmé, že při spojování všemi třemi profily spojovacích kotoučů vykazují nejvyšší pevnosti v tahu vytvořené spoje materiálu AMORUN. To je však snadno odůvodnitelné. AMORUN má oproti dalším dvěma spojovaným materiálům menší plošnou hmotnost, a tak ke spojování dochází daleko snadněji než u plošně hmotnějších materiálů (tenčí materiály se za stejný čas lépe nataví), i když probíhá za stejných podmínek.

Pevnost spojů v tahu je ovlivněna i obsahem spojovacích ploch kotoučů. Při zaměření čistě na materiál o nejmenší plošné hmotnosti, tj. AMORUN, jsem došla k dalšímu zjištění, že zaručeně nejvyšší průměrné pevnosti v tahu vykazují spoje vytvářené spojovacím kotoučem K1, u něhož obsah plochy plastického motivu zabírá jednoznačně největší podíl jeho spojovací plochy. Menší pevnost v tahu pak vykazují

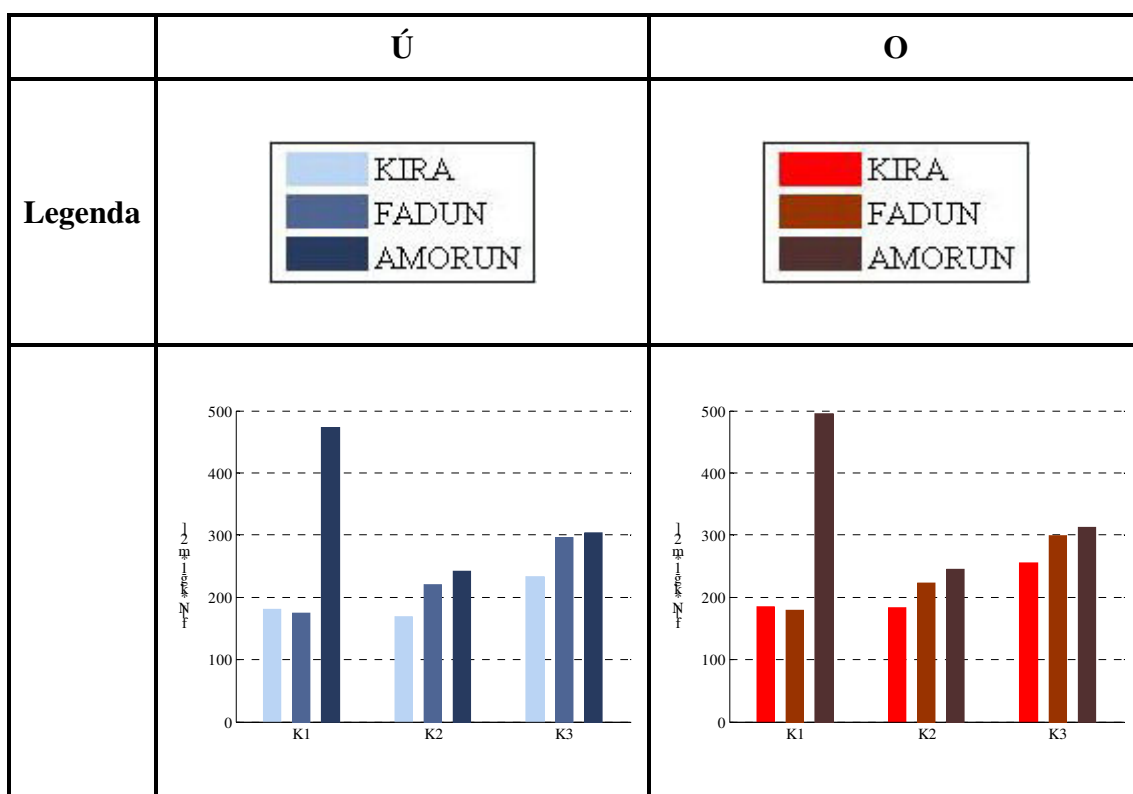
spoje vytvářené spojovacím kotoučem K3 a nejhorší tažné pevnosti vykazují spoje vzniklé spojovacím kotoučem K2.

Tab. 6.1.2 Grafické vyhodnocení průměrných pevností v tahu spojů jednotlivých spojovaných materiálů z hlediska nastavení parametrů svařování - výkon stroje [%]

	Ú	O																																
Legenda	<div><div></div>KIRA</div> <div><div></div>FADUN</div> <div><div></div>AMORUN</div>	<div><div></div>KIRA</div> <div><div></div>FADUN</div> <div><div></div>AMORUN</div>																																
K1	 <table><caption>Estimated data for K1 Ú</caption><thead><tr><th>Parametr</th><th>KIRA</th><th>FADUN</th><th>AMORUN</th></tr></thead><tbody><tr><td>P1</td><td>20</td><td>10</td><td>80</td></tr><tr><td>P2</td><td>90</td><td>60</td><td>280</td></tr><tr><td>P3</td><td>180</td><td>180</td><td>480</td></tr></tbody></table>	Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN	P1	20	10	80	P2	90	60	280	P3	180	180	480	 <table><caption>Estimated data for K1 O</caption><thead><tr><th>Parametr</th><th>KIRA</th><th>FADUN</th><th>AMORUN</th></tr></thead><tbody><tr><td>P1</td><td>40</td><td>10</td><td>90</td></tr><tr><td>P2</td><td>110</td><td>90</td><td>290</td></tr><tr><td>P3</td><td>190</td><td>180</td><td>500</td></tr></tbody></table>	Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN	P1	40	10	90	P2	110	90	290	P3	190	180	500
Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN																															
P1	20	10	80																															
P2	90	60	280																															
P3	180	180	480																															
Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN																															
P1	40	10	90																															
P2	110	90	290																															
P3	190	180	500																															
K2	 <table><caption>Estimated data for K2 Ú</caption><thead><tr><th>Parametr</th><th>KIRA</th><th>FADUN</th><th>AMORUN</th></tr></thead><tbody><tr><td>P1</td><td>170</td><td>180</td><td>170</td></tr><tr><td>P2</td><td>170</td><td>190</td><td>220</td></tr><tr><td>P3</td><td>170</td><td>220</td><td>240</td></tr></tbody></table>	Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN	P1	170	180	170	P2	170	190	220	P3	170	220	240	 <table><caption>Estimated data for K2 O</caption><thead><tr><th>Parametr</th><th>KIRA</th><th>FADUN</th><th>AMORUN</th></tr></thead><tbody><tr><td>P1</td><td>180</td><td>190</td><td>170</td></tr><tr><td>P2</td><td>180</td><td>190</td><td>220</td></tr><tr><td>P3</td><td>180</td><td>220</td><td>240</td></tr></tbody></table>	Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN	P1	180	190	170	P2	180	190	220	P3	180	220	240
Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN																															
P1	170	180	170																															
P2	170	190	220																															
P3	170	220	240																															
Parametr	KIRA	FADUN	AMORUN																															
P1	180	190	170																															
P2	180	190	220																															
P3	180	220	240																															



Tab. 6.1.3 Grafické vyhodnocení nejvyšších dosažených průměrných hodnot pevností v tahu spojů jednotlivých spojovaných materiálů z hlediska použitého profilu spojovacích kotoučů



6.2 Tažnost spojů

Vyhodnocení průměrných hodnot tažností zhotovených spojů v rámci experimentální části této bakalářské práce jsem neprováděla, jelikož ani společnost Johnson Controls, která byla vybrána jako modelová společnost pro porovnávání výsledků, neklade na

kvalitu spoje z hlediska tažnosti žádný specifický požadavek [26]. Tento fakt je s největší pravděpodobností ovlivněn poměrně malou tažností spojovaných materiálů (tab. P11 – P13, P17 – P19), z kterých, dle informací od pověřeného zástupce společnosti FEZKO THIERRY, a. s., vyrábí svá automobilová sedadla i společnost Johnson Controls.

ZÁVĚRY

Hlavním cílem této bakalářské práce na téma spojování ultrazvukem bylo určit, jaký vliv má tvar kolečka (při spojování ultrazvukem) na kvalitu spoje.

Spoje vytvářené v rámci experimentu spojovaly pevné potahové materiály pro účely výroby automobilových sedadel.

Kvalita spojů se posuzuje z hlediska jejich vlastností, a to zejména těch mechanických. Těmito mechanickými vlastnostmi je konkrétně myšlena pevnost v tahu a na ní přímo závislá tažnost. V případě této bakalářské práce však nebyla posuzována tažnost spojů, jelikož v praxi (dle vybrané modelové společnosti Johnson Controls) se kvalita spoje pevného potahu automobilového sedadla posuzuje pouze z hlediska jeho pevnosti.

Dle vyhodnocení experimentu a porovnání jeho výsledků s požadavkem, který na kvalitu spoje klade výše jmenovaná modelová společnost, jsem dospěla k závěru, že ultrazvukové spojování by se pro výrobu automobilových sedadel rozhodně nemohlo uplatnit, protože nejpevnější spoj dosahoval cca 1/3 z požadované pevnosti.

Je známo, že čím větší plochou jsou spojované materiály v místě spoje vzájemně propojeny, tím kvalitnější spoje vznikají. Díky provedení a vyhodnocení navrženého experimentu se tento fakt potvrdil, jelikož jsem došla k závěru, že i na kvalitu vzniklých spojů má významný vliv obsah spojovacích ploch kotoučů.

Spojovacími kotouči s hladkou spojovací plochou se zajisté dosáhne nejkvalitnějších spojů. To však platí zejména u slabších spojovaných materiálů. U silnějších materiálů je poměrně velkou nevýhodou hladkých spojovacích ploch kotoučů to, že pro vytvoření spoje vyžadují daleko delší čas, popř. vyšší výkon stroje než pro vytvoření stejně kvalitního spoje kotouči s plastickými motivy, jejichž obsah spojovacích ploch je jednoznačně menší. Důvodem je, že kotouče s plastickými motivy na spojovacích plochách mají svůj poloměr zvětšený o hloubky motivů, které z těchto hladkých ploch vystupují. Při spojování těmito kotouči jsou tudíž svařované materiály stlačeny v místě spoje větší silou než při spojování kotouči s hladkou spojovací plochou, což urychluje průchod ultrazvukové energie.

Důkazem toho, že kotouče s hladkými spojovacími plochami nejsou opravdu pro silnější materiály tou nejlepší volbou, jsou i výsledky mých orientačních pokusů před započítím experimentu. Spojované materiály pro účely experimentu nebylo možno

tímto typem spojovacích ploch kotoučů spojit. Nyní již lze s jistotou tvrdit, že spoj by mohl vzniknout, ale díky větší tloušťce spojovaných materiálů by musela být podstatně snížena rychlost svařování. To by ale zároveň bylo silně neekonomické a při eventuálním úspěchu spojů z hlediska jejich pevnosti do praxe nepřeveditelné.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] **Motejl, V.:** Stroje a zařízení v oděvní výrobě: Stroje pro technickou přípravu výroby, oddělovací, spojovací, tepelně tvarovací a dokončovací proces. Praha: SNTL, 1984. 340 s.
- [2] **Haas, V.:** Oděvní stroje a zařízení II. Praha: Informatorium, 2000. 161 s.
- [3] Nekonvenční způsoby spojování: Spojovací proces [online]. Dostupné z <https://skripta.ft.tul.cz/databaze/data/2007-11-20/11-52-00.pdf> [citováno 6. 12. 2009].
- [4] Levi's Jeans – jak a kde vznikly džíny? / Profil značky Levi Strauss: LuxuryMag: móda a životní styl [online]. Dostupné z <http://www.luxurymag.cz/novin-ky/66/levi-s-jeans-jak-a-kde-vznikly-dziny-profil-znacky-levi-strauss/> [citováno 26. 12. 2009].
- [5] **Kozlovská, H.; Bohanesová, B.:** Oděvní materiály I. Praha: Informatorium, 1998. 132 s.
- [6] **Sodomka, L.:** Struktura, vlastnosti, diagnostika a nové technologie oddělování, spojování a pojení textilií. Liberec: Technická univerzita, 2002. 181 s.
- [7] 2.2 Termické vlastnosti vláken: 2 Tvarování textilních materiálů [online]. Dostupné z <https://skripta.ft.tul.cz/akreditace/data/2003-04-03/08-52-48.pdf> [citováno 6. 12. 2009].
- [8] **Tarábek, P.; Červinková, P. a kolektiv:** Odmaturuj! z fyziky. Brno: Didaktis, 2006. 224 s.
- [9] Light – The Basics: Astro 105: The Milky Way: Lecture V: The Light: Modern Astrophysics [online]. Dostupné z http://images.google.cz/imgres?imgurl=http://www.pas.rochester.edu/~afrank/A105/LectureV/images/FG03_006.PCT.gif&imgrefurl=http://www.pas.rochester.edu/~afrank/A105/LectureV/LectureV.html&usq=nTaONfvC23g1PXgtzvF5saea_s=&h=400&w=600&sz=42&hl=cs&start=46&um=1&tbnid=BPq_C5sYFq82xM:&tbnh=90&tbnw=135&prev=/images%3Fq%3Delektromagnetick%25C3%25A1%2Bvlna%26ndsp%3D18%26hl%3Dcs%26lr%3D%26sa%3DN%26start%3D36%26um%3D1 [citováno 8. 12. 2009].
- [10] Elektromagnetické záření: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektromagnetick%C3%A9_z%C3%A1r%C5%99en%C3%AD [citováno 10. 12. 2009].

- [11] Seamsonic 8310/ 8312: Ultrasonic welding machine for continuous welding of flexible thermoplastic materials and nonwovens: PFAFF Industrial [online]. Dostupné z http://www.symaskinservice.nu/files/files/Broschyr%208310_8312-e.pdf [citováno 29. 12. 2009].
- [12] Technologie a konstrukční zajímavosti: directalpine: TECHNICAL OUTDOOR WEAR [online]. Dostupné z <http://www.directalpine.cz/a265-technologie-a-kon-strukcni-zajimavosti> [citováno 26. 12. 2009].
- [13] Ultrazvukové svařování: BRANSON: Emerson Industrial Automation [online]. Dostupné z <http://www.bransoneurope.net/cz/schweissverfahren/ultraschallsch-weissen/index.html> [citováno 29. 12. 2009].
- [14] Monochromatické záření: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z http://cs.wikipedia.org/wiki/Monochromatick%C3%A9_z%C3%A1-%C5%99en%C3%AD [citováno 2. 1. 2010].
- [15] Záření: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Z%C3%A1-%C5%99en%C3%AD> [citováno 2. 1. 2010].
- [16] Laser: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser> [citováno 2. 1. 2010].
- [17] Poslední trendy ve svařování laserem: MM Průmyslové spektrum [online]. Dostupné z <http://www.mmspektrum.com/clanek/posledni-trendy-ve-svarovani-la-serem> [citováno 2. 1. 2010].
- [18] Línea Industrial: PFAFF: THE NEW FACE: *CLINICA DE LA MAQUINA DE COSER* [online]. Dostupné z http://www.clinicadelamaqcoser.com.ar/Pfaff/Industrial/Linea_Industrial_Pfaff.htm [citováno 3. 1. 2010].
- [19] Dielektrikum: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/Dielektrikum> [citováno 3. 1. 2010].
- [20] Vysokofrekvenční svařování G.E.A.F.: TECHNOLOGY PRODUCT TRADE [online]. Dostupné z <http://www.tp-t.cz/geaf/geaf.htm> [citováno 4. 1. 2010].
- [21] Prodotti: Settore prima infanzia: G.E.A.F. S.r.l.: Generatori Elettronici ad Alta Frequenza [online]. Dostupné z <http://www.geaf.it/jsp/livesite/AllProducts.jsp?parent=27> [citováno 4. 1. 2010].
- [22] Machine Catalogues: H&H Asia Group Ltd. [online]. Dostupné z http://www.h-h.com.hk/our_product.html [citováno 26. 12. 2009].

- [23] Nýt: WIKIPEDIE: Otevřená encyklopedie [online]. Dostupné z <http://cs.wikipedia.org/wiki/N%C3%BDt> [citováno 26. 12. 2009].
- [24] Machines: Riveting Machines: SCoM srl [online]. Dostupné z <http://www.sicomitaly.it/eng/default.htm> [citováno 26. 12. 2009].
- [25] Jacob Davis: BEN DAVIS: WORLD WORK WEAR [online]. Dostupné z <http://www.bendavis.com/jacobdavis.htm> [citováno 26. 12. 2009].
- [26] **Řihošková, E.:** Využití a ekonomické vyhodnocení ultrazvukového spojování pro potřeby závodu Johnson Controls Česká Lípa: Diplomová práce. Liberec: Technická univerzita, 2009. 89 s.
- [27] **Kovačič, V.:** Textilní zkušebnictví: Díl I. Liberec: Technická univerzita, 2002. 83 s.
- [28] **Kovačič, V.:** Textilní zkušebnictví: Díl II. Liberec: Technická univerzita, 2002. 74 s.

PŘÍLOHA

Tab. P1 Použité vzorce [27, 28]

Název	Značka	Vzorec	Jednotky
PEVNOST V TAHU	f	$\frac{F \text{ [N]}}{\rho_s \text{ [kg} \cdot \text{m}^{-2}]}$	$\text{N} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^2$
TAŽNOST	ε	$\frac{\Delta l \text{ [mm]}}{l_0 \text{ [mm]}} \cdot 100$	%
PRŮMĚR	\bar{x}	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$	dle jednotek souboru dat
SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	s	$\sqrt{s^2}$	dle jednotek souboru dat
VARIAČNÍ KOEFICIENT	v	$\frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$	%
ROZPTYL	s^2	$\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$	$(\text{dle jednotek souboru dat})^2$
INTERVAL SPOLEHLIVOSTI	95% IS	$\bar{x} \pm t_{0.95 (n-1)} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}$	dle jednotek souboru dat

Tab. P2 Naměřené hodnoty absolutních sil spojů pro materiál KIRA - F [N]

KIRA	i	K1				K2				K3			
		F _i [N]				F _i [N]				F _i [N]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	4,54	8,09	8,88	11,15	40,36	41,12	45,41	45,32	52,15	52,97	59,81	64,35
	2	4,88	8,18	9,09	12,05	43,13	44,83	46,86	48,65	53,33	54,46	60,71	66,59
	3	5,20	8,37	9,35	12,65	44,96	45,69	47,25	48,80	54,34	56,37	60,81	67,72
	4	5,54	8,80	9,80	12,91	44,98	47,91	48,14	51,40	55,85	56,37	61,26	68,80
	5	5,57	9,24	10,26	13,53	45,09	48,83	48,98	54,72	57,44	56,65	64,05	68,96
P2	1	20,73	25,43	36,10	36,04	39,97	43,95	51,70	51,16	57,45	58,52	60,71	65,20
	2	23,70	25,98	37,25	40,30	42,34	45,20	52,99	53,54	58,54	58,95	63,80	68,44
	3	24,21	28,38	38,85	43,61	44,99	46,80	54,92	56,47	59,36	60,35	63,96	68,92
	4	24,57	29,79	40,11	44,59	45,24	47,94	57,70	56,99	59,94	60,97	66,36	71,05
	5	25,98	31,59	42,41	45,01	46,35	50,82	58,03	60,82	62,72	62,95	68,58	74,65
P3	1	43,52	44,53	51,93	53,30	39,21	43,61	53,48	54,99	56,87	63,27	61,30	71,11
	2	46,47	45,60	56,24	55,44	40,17	46,71	57,78	55,35	58,66	64,99	66,04	73,58
	3	46,85	48,22	56,40	57,54	45,91	48,16	61,42	60,38	61,53	66,16	66,61	74,05
	4	47,49	49,33	56,47	59,27	47,10	48,45	61,58	63,05	61,61	67,87	69,41	75,46
	5	50,66	52,25	62,95	61,28	47,38	52,25	61,88	63,27	64,12	69,62	70,24	76,91

Tab. P3 Naměřené hodnoty absolutních sil spojů pro materiál FADUN – F [N]

FADUN	i	K1				K2				K3			
		F _i [N]				F _i [N]				F _i [N]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	1,76	2,11	10,26	10,45	44,23	43,22	57,12	50,35	64,26	66,41	71,06	68,99
	2	1,86	2,24	10,28	10,67	44,99	47,07	57,27	58,67	65,12	69,38	71,43	72,70
	3	2,04	2,32	10,43	10,81	45,19	47,33	58,09	58,95	68,32	69,45	74,09	73,29
	4	2,97	2,70	10,97	11,57	46,67	47,92	58,56	59,64	68,86	72,29	75,65	74,14
	5	3,14	2,78	11,66	12,36	46,99	54,23	58,72	65,61	69,72	75,77	76,17	80,16
P2	1	10,13	20,11	22,15	29,60	42,68	41,75	58,54	57,09	67,10	67,32	76,98	74,88
	2	11,30	20,52	26,28	29,94	44,93	45,86	59,63	57,30	67,48	71,21	77,25	77,24
	3	14,02	22,08	27,74	31,52	46,99	49,91	59,63	58,42	70,93	71,35	77,40	80,40
	4	18,87	26,10	28,12	31,69	50,67	50,07	61,62	61,43	73,26	73,90	80,26	81,44
	5	22,05	28,60	33,95	36,31	54,83	52,75	61,95	67,37	76,98	77,18	80,50	84,17
P3	1	38,56	40,09	48,43	54,72	54,39	54,91	62,83	66,37	74,67	73,38	84,89	87,39
	2	43,22	46,05	53,30	57,72	54,49	56,89	63,28	67,31	74,89	78,09	86,28	87,79
	3	44,45	46,39	58,66	58,26	57,30	57,17	63,47	67,99	77,13	78,10	87,13	88,51
	4	49,08	47,31	64,45	58,64	59,57	57,59	66,83	68,30	77,59	78,50	87,39	89,37
	5	51,84	53,30	64,54	61,06	60,02	62,66	70,30	69,27	80,68	81,44	89,08	94,06

Tab. P4 Naměřené hodnoty absolutních sil spojů pro materiál AMORUN – F [N]

AMORUN	i	K1				K2				K3			
		F _i [N]				F _i [N]				F _i [N]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	14,65	18,25	25,23	22,69	34,57	33,58	53,24	50,41	52,55	50,18	58,31	55,56
	2	14,80	19,02	26,56	27,09	35,94	35,78	53,30	55,44	56,21	52,42	58,55	57,10
	3	17,83	19,85	27,53	28,50	35,97	39,20	53,43	56,24	56,76	57,08	59,38	58,83
	4	18,71	21,17	27,96	30,10	37,76	39,33	53,86	58,09	56,81	59,76	60,14	61,50
	5	20,21	21,77	28,10	31,72	40,42	39,53	55,95	58,19	58,31	61,90	60,46	64,10
P2	1	60,23	59,88	74,24	77,13	42,12	43,29	54,98	56,29	60,65	61,59	66,25	68,69
	2	60,43	61,43	77,08	77,89	45,52	46,84	58,19	58,68	61,18	64,36	66,28	71,12
	3	62,14	63,72	78,10	80,27	49,13	49,56	61,31	58,68	62,03	64,67	71,18	72,19
	4	62,53	64,81	78,65	80,79	50,12	49,97	61,43	61,45	62,39	64,92	72,03	73,97
	5	63,65	65,77	78,95	85,15	50,75	53,25	63,72	65,29	66,46	68,11	72,39	74,52
P3	1	99,00	105,72	104,04	106,95	50,26	48,22	58,32	56,10	65,24	63,85	67,33	70,48
	2	104,01	109,53	106,89	110,94	52,82	54,90	60,57	58,81	66,17	64,93	70,47	71,96
	3	104,04	109,71	108,01	111,89	53,65	55,41	60,65	61,77	66,27	68,11	70,72	73,46
	4	106,37	109,89	109,41	113,52	54,38	55,41	62,65	64,81	67,57	70,72	74,92	74,86
	5	106,89	110,24	109,79	114,06	54,71	55,95	63,85	65,54	68,65	75,06	76,27	76,36

Tab. P5 Naměřené hodnoty absolutních deformací spojů pro materiál KIRA – Δl [mm]

KIRA	i	K1				K2				K3			
		Δl_i [mm]				Δl_i [mm]				Δl_i [mm]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
		1,30	1,92	4,84	4,83	6,76	7,94	8,61	8,13	9,18	9,21	12,07	13,21
		1,34	2,45	4,87	4,97	7,30	7,96	8,72	8,49	9,41	9,59	12,33	13,33
		1,57	2,48	4,91	4,99	7,43	8,24	8,74	8,73	9,48	10,42	12,62	13,69
		1,76	2,52	5,16	6,11	7,73	8,34	8,76	9,88	9,92	10,47	12,75	13,75
		1,80	2,55	5,37	6,49	7,77	8,43	8,93	9,95	10,03	10,52	12,77	14,15
		6,72	6,65	6,79	7,32	7,18	7,61	8,90	9,94	11,30	11,05	12,41	11,27
		6,85	7,35	6,91	7,91	8,01	8,30	9,08	10,26	11,31	12,32	13,11	13,73
		6,91	7,52	7,44	8,02	8,15	8,42	9,57	10,26	11,37	12,61	13,33	14,83
		6,91	7,86	7,52	8,60	8,29	8,50	10,38	10,59	11,47	12,75	13,51	15,73
		7,45	8,05	7,86	8,87	8,40	8,55	10,88	10,66	11,57	12,96	13,71	15,85
		7,24	7,77	9,32	9,11	7,47	7,16	10,22	9,42	10,52	11,22	13,15	15,50
		8,71	9,09	9,92	10,21	7,96	8,43	10,54	9,58	11,85	11,97	13,75	15,74
		8,74	9,22	10,42	10,61	7,98	9,03	10,73	12,43	12,41	12,94	14,45	15,77
		8,98	9,34	10,94	10,62	8,29	9,28	10,98	12,70	12,41	13,25	15,25	15,82
		9,05	9,62	11,11	12,90	9,57	9,44	11,12	12,89	12,47	14,18	15,94	16,10

Tab. P6 Naměřené hodnoty absolutních deformací spojů pro materiál FADUN – Δl [mm]

FADUN	i	K1				K2				K3			
		Δl_i [mm]				Δl_i [mm]				Δl_i [mm]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	1,41	2,08	5,25	6,58	7,34	8,86	8,98	10,13	9,18	10,06	11,21	11,37
	2	1,58	2,13	5,59	6,71	7,56	9,32	9,32	10,17	9,72	10,84	11,30	11,68
	3	1,94	2,16	5,70	6,77	7,83	9,65	9,46	11,28	10,00	11,50	11,36	12,73
	4	2,28	2,16	6,60	7,13	8,93	9,70	9,46	11,39	10,45	11,63	11,57	12,99
	5	2,42	2,17	6,69	7,44	8,97	10,88	9,91	12,18	10,76	14,38	11,60	15,33
P2	1	5,84	7,01	5,90	7,52	7,19	9,16	9,15	10,11	9,75	11,39	11,89	11,75
	2	6,33	7,13	6,44	7,64	8,20	10,04	9,59	11,14	10,20	12,21	11,92	12,26
	3	6,68	7,47	7,00	8,06	8,67	10,09	9,78	11,60	10,48	12,49	12,04	13,55
	4	6,73	7,97	7,18	8,50	8,93	10,48	9,86	11,78	10,86	13,37	12,24	14,02
	5	6,80	8,51	7,31	8,52	9,12	10,65	9,90	12,62	11,29	13,61	12,81	14,23
P3	1	6,55	6,94	8,56	9,79	8,37	8,85	8,96	10,37	10,81	11,65	13,72	15,36
	2	6,57	7,91	8,87	10,42	8,56	9,47	9,06	11,17	11,23	12,37	13,74	15,42
	3	7,01	8,28	9,15	10,72	8,95	9,66	10,04	11,65	11,55	13,20	13,92	15,50
	4	7,24	8,83	9,41	10,73	9,15	11,63	10,64	11,68	11,85	13,31	14,92	16,14
	5	7,47	8,85	9,78	11,68	9,21	12,32	10,86	13,21	12,05	14,07	15,03	18,84

Tab. P7 Naměřené hodnoty absolutních deformací spojů pro materiál AMORUN – Δl [mm]

AMORUN	i	K1				K2				K3			
		Δl_i [mm]				Δl_i [mm]				Δl_i [mm]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	2,37	3,12	4,22	4,51	5,66	5,37	6,99	7,40	7,00	7,11	7,05	7,18
	2	2,47	3,45	4,59	5,05	5,79	5,92	7,07	7,44	7,48	8,03	7,55	8,08
	3	2,56	3,70	5,15	5,28	5,92	6,04	7,52	7,56	7,78	8,15	7,88	8,18
	4	2,91	3,98	5,40	5,58	6,07	6,14	8,33	8,15	8,58	8,28	8,64	8,37
	5	3,26	4,19	5,52	5,67	6,13	6,15	8,56	8,32	9,48	8,96	9,50	9,17
P2	1	7,95	8,56	11,42	11,39	6,31	6,41	7,76	7,19	8,49	8,34	8,51	8,74
	2	8,90	8,74	11,69	11,67	6,78	6,61	8,25	7,76	8,79	8,51	8,82	8,80
	3	9,03	9,00	11,70	11,81	6,87	6,81	8,33	8,17	9,06	8,78	9,21	9,00
	4	9,31	9,45	11,89	12,08	6,87	7,17	8,44	9,04	9,29	10,21	9,46	10,36
	5	9,58	10,36	11,99	14,05	7,43	7,30	8,56	9,32	9,68	10,65	9,82	10,88
P3	1	11,13	9,81	11,76	10,36	6,82	6,80	8,35	8,10	8,80	8,17	8,84	8,85
	2	11,59	11,97	11,83	12,23	7,00	7,03	8,52	8,95	8,80	9,04	8,86	9,10
	3	11,77	12,97	12,89	13,21	7,10	7,10	9,03	9,08	9,02	9,54	9,06	9,62
	4	12,41	13,16	13,46	13,89	7,22	7,39	9,21	9,76	9,19	9,76	9,23	9,83
	5	12,96	13,70	13,49	13,97	8,06	8,99	9,31	9,84	9,90	10,28	9,92	10,55

Tab. P8 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních sil spojů (tab. P2) na pevnosti spojů v tahu pro materiál KIRA - f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]

KIRA	i	K1				K2				K3			
		f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	17,46	31,12	34,15	42,88	155,23	158,15	174,65	174,31	200,58	203,73	230,04	247,50
	2	18,77	31,46	34,96	46,35	165,88	172,42	180,23	187,12	205,12	209,46	233,50	256,12
	3	20,00	32,19	35,96	48,65	172,92	175,73	181,73	187,69	209,00	216,81	233,88	260,46
	4	21,31	33,85	37,69	49,65	173,00	184,27	185,15	197,69	214,81	216,81	235,62	264,62
	5	21,42	35,54	39,46	52,04	173,42	187,81	188,38	210,46	220,92	217,88	246,35	265,23
P2	1	79,73	97,81	138,85	138,62	153,73	169,04	198,85	196,77	220,96	225,08	233,50	250,77
	2	91,15	99,92	143,27	155,00	162,85	173,85	203,81	205,92	225,15	226,73	245,38	263,23
	3	93,12	109,15	149,42	167,73	173,04	180,00	211,23	217,19	228,31	232,12	246,00	265,08
	4	94,5	114,58	154,27	171,50	174,00	184,38	221,92	219,19	230,54	234,50	255,23	273,27
	5	99,92	121,5	163,12	173,12	178,27	195,46	223,19	233,92	241,23	242,12	263,77	287,12
P3	1	167,38	171,27	199,73	205,00	150,81	167,73	205,69	211,50	218,73	243,35	235,77	273,50
	2	178,73	175,38	216,31	213,23	154,50	179,65	222,23	212,88	225,62	249,96	254,00	283,00
	3	180,19	185,46	216,92	221,31	176,58	185,23	236,23	232,23	236,65	254,46	256,19	284,81
	4	182,65	189,73	217,19	227,96	181,15	186,35	236,85	242,50	236,96	261,04	266,96	290,23
	5	194,85	200,96	242,12	235,69	182,23	200,96	238,00	243,35	246,62	267,77	270,15	295,81

Tab. P9 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních sil spojů (tab. P3) na pevnosti spojů v tahu pro materiál FADUN - f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]

FADUN	i	K1				K2				K3			
		f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	6,77	8,12	39,46	40,19	170,12	166,23	219,69	193,65	247,15	255,42	273,31	265,35
	2	7,15	8,62	39,54	41,04	173,04	181,04	220,27	225,65	250,46	266,85	274,73	279,62
	3	7,85	8,92	40,12	41,58	173,81	182,04	223,42	226,73	262,77	267,12	284,96	281,88
	4	11,42	10,38	42,19	44,50	179,50	184,31	225,23	229,38	264,85	278,04	290,96	285,15
	5	12,08	10,69	44,85	47,54	180,73	208,58	225,85	252,35	268,15	291,42	292,96	308,31
P2	1	38,96	77,35	85,19	113,85	164,15	160,58	225,15	219,58	258,08	258,92	296,08	288,00
	2	43,46	78,92	101,08	115,15	172,81	176,38	229,35	220,38	259,54	273,88	297,12	297,08
	3	53,92	84,92	106,69	121,23	180,73	191,96	229,35	224,69	272,81	274,42	297,69	309,23
	4	72,58	100,38	108,15	121,88	194,88	192,58	237,00	236,27	281,77	284,23	308,69	313,23
	5	84,81	110,00	130,58	139,65	210,88	202,88	238,27	259,12	296,08	296,85	309,62	323,73
P3	1	148,31	154,19	186,27	210,46	209,19	211,19	241,65	255,27	287,19	282,23	326,50	336,12
	2	166,23	177,12	205,00	222,00	209,58	218,81	243,38	258,88	288,04	300,35	331,85	337,65
	3	170,96	178,42	225,62	224,08	220,38	219,88	244,12	261,50	296,65	300,38	335,12	340,42
	4	188,77	181,96	247,88	225,54	229,12	221,50	257,04	262,69	298,42	301,92	336,12	343,73
	5	199,38	205,00	248,23	234,85	230,85	241,00	270,38	266,42	310,31	313,23	342,62	361,77

Tab. P10 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních sil spojů (tab. P4) na pevnosti spojů v tahu pro materiál AMORUN - f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]

AMORUN	i	K1				K2				K3			
		f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f_i [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	66,59	82,95	114,68	103,14	157,14	152,64	242,00	229,14	238,86	228,09	265,05	252,55
	2	67,27	86,45	120,73	123,14	163,36	162,64	242,27	252,00	255,50	238,27	266,14	259,55
	3	81,05	90,23	125,14	129,55	163,50	178,18	242,86	255,64	258,00	259,45	269,91	267,41
	4	85,05	96,23	127,09	136,82	171,64	178,77	244,82	264,05	258,23	271,64	273,36	279,55
	5	91,86	98,95	127,73	144,18	183,73	179,68	254,32	264,50	265,05	281,36	274,82	291,36
P2	1	273,77	272,18	337,45	350,59	191,45	196,77	249,91	255,86	275,68	279,95	301,14	312,23
	2	274,68	279,23	350,36	354,05	206,91	212,91	264,50	266,73	278,09	292,55	301,27	323,27
	3	282,45	289,64	355,00	364,86	223,32	225,27	278,68	266,73	281,95	293,95	323,55	328,14
	4	284,23	294,59	357,50	367,23	227,82	227,14	279,23	279,32	283,59	295,09	327,41	336,23
	5	289,32	298,95	358,86	387,05	230,68	242,05	289,64	296,77	302,09	309,59	329,05	338,73
P3	1	450,00	480,55	472,91	486,14	228,45	219,18	265,09	255,00	296,55	290,23	306,05	320,36
	2	472,77	497,86	485,86	504,27	240,09	249,55	275,32	267,32	300,77	295,14	320,32	327,09
	3	472,91	498,68	490,95	508,59	243,86	251,86	275,68	280,77	301,23	309,59	321,45	333,91
	4	483,50	499,50	497,32	516,00	247,18	251,86	284,77	294,59	307,14	321,45	340,55	340,27
	5	485,86	501,09	499,05	518,45	248,68	254,32	290,23	297,91	312,05	341,18	346,68	347,09

Tab. P11 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních deformací spojů (tab. P5) na tažnosti spojů pro materiál KIRA – ε [%]

KIRA	i	K1				K2				K3			
		ε_i [%]				ε_i [%]				ε_i [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	0,65	0,96	2,42	2,42	3,38	3,97	4,31	4,07	4,59	4,61	6,04	6,61
	2	0,67	1,23	2,44	2,49	3,65	3,98	4,36	4,25	4,71	4,80	6,17	6,67
	3	0,79	1,24	2,46	2,50	3,72	4,12	4,37	4,37	4,74	5,21	6,31	6,85
	4	0,88	1,26	2,58	3,06	3,87	4,17	4,38	4,94	4,96	5,24	6,38	6,88
	5	0,90	1,28	2,69	3,25	3,89	4,22	4,47	4,98	5,02	5,26	6,39	7,08
P2	1	3,36	3,33	3,40	3,66	3,59	3,81	4,45	4,97	5,65	5,53	6,21	5,64
	2	3,43	3,68	3,46	3,96	4,01	4,15	4,54	5,13	5,66	6,16	6,56	6,87
	3	3,46	3,76	3,72	4,01	4,08	4,21	4,79	5,13	5,69	6,31	6,67	7,42
	4	3,46	3,93	3,76	4,30	4,15	4,25	5,19	5,30	5,74	6,38	6,76	7,87
	5	3,73	4,03	3,93	4,44	4,20	4,28	5,44	5,33	5,79	6,48	6,86	7,93
P3	1	3,62	3,89	4,66	4,56	3,74	3,58	5,11	4,71	5,26	5,61	6,58	7,75
	2	4,36	4,55	4,96	5,11	3,98	4,22	5,27	4,79	5,93	5,99	6,88	7,87
	3	4,37	4,61	5,21	5,31	3,99	4,52	5,37	6,22	6,21	6,47	7,23	7,89
	4	4,49	4,67	5,47	5,31	4,15	4,64	5,49	6,35	6,21	6,63	7,63	7,91
	5	4,53	4,81	5,56	6,45	4,79	4,72	5,56	6,45	6,24	7,09	7,97	8,05

Tab. P12 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních deformací spojů (tab. P6) na tažnosti spojů pro materiál FADUN – ε [%]

FADUN	i	K1				K2				K3			
		ε_i [%]				ε_i [%]				ε_i [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	0,71	1,04	2,63	3,29	3,67	4,43	4,49	5,07	4,59	5,03	5,61	5,69
	2	0,79	1,07	2,80	3,36	3,78	4,66	4,66	5,09	4,86	5,42	5,65	5,84
	3	0,97	1,08	2,85	3,39	3,92	4,83	4,73	5,64	5,00	5,75	5,68	6,37
	4	1,14	1,08	3,30	3,57	4,47	4,85	4,73	5,70	5,23	5,82	5,79	6,50
	5	1,21	1,09	3,35	3,72	4,49	5,44	4,96	6,09	5,38	7,19	5,80	7,67
P2	1	2,92	3,51	2,95	3,76	3,60	4,58	4,58	5,06	4,88	5,70	5,95	5,88
	2	3,17	3,57	3,22	3,82	4,10	5,02	4,80	5,57	5,10	6,11	5,96	6,13
	3	3,34	3,74	3,50	4,03	4,34	5,05	4,89	5,80	5,24	6,25	6,02	6,78
	4	3,37	3,99	3,59	4,25	4,47	5,24	4,93	5,89	5,43	6,69	6,12	7,01
	5	3,40	4,26	3,66	4,26	4,56	5,33	4,95	6,31	5,65	6,81	6,41	7,12
P3	1	3,28	3,47	4,28	4,90	4,19	4,43	4,48	5,19	5,41	5,83	6,86	7,68
	2	3,29	3,96	4,44	5,21	4,28	4,74	4,53	5,59	5,62	6,19	6,87	7,71
	3	3,51	4,14	4,58	5,36	4,48	4,83	5,02	5,83	5,78	6,60	6,96	7,75
	4	3,62	4,42	4,71	5,37	4,58	5,82	5,32	5,84	5,93	6,66	7,46	8,07
	5	3,74	4,43	4,89	5,84	4,61	6,16	5,43	6,61	6,03	7,04	7,52	9,42

Tab. P13 Přepočítané hodnoty naměřených absolutních deformací spojů (tab. P7) na tažnosti spojů pro materiál AMORUN – ε [%]

AMORUN	i	K1				K2				K3			
		ε_i [%]				ε_i [%]				ε_i [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	1	1,19	1,56	2,11	2,26	2,83	2,69	3,50	3,70	3,50	3,56	3,53	3,59
	2	1,24	1,73	2,30	2,53	2,90	2,96	3,54	3,72	3,74	4,02	3,78	4,04
	3	1,28	1,85	2,58	2,64	2,96	3,02	3,76	3,78	3,89	4,08	3,94	4,09
	4	1,46	1,99	2,70	2,79	3,04	3,07	4,17	4,08	4,29	4,14	4,32	4,19
	5	1,63	2,10	2,76	2,84	3,07	3,08	4,28	4,16	4,74	4,48	4,75	4,59
P2	1	3,98	4,28	5,71	5,70	3,16	3,21	3,88	3,60	4,25	4,17	4,26	4,37
	2	4,45	4,37	5,85	5,84	3,39	3,31	4,13	3,88	4,40	4,26	4,41	4,40
	3	4,52	4,50	5,85	5,91	3,44	3,41	4,17	4,09	4,53	4,39	4,61	4,50
	4	4,66	4,73	5,95	6,04	3,44	3,59	4,22	4,52	4,65	5,11	4,73	5,18
	5	4,79	5,18	6,00	7,03	3,72	3,65	4,28	4,66	4,84	5,33	4,91	5,44
P3	1	5,57	4,91	5,88	5,18	3,41	3,40	4,18	4,05	4,40	4,09	4,42	4,43
	2	5,80	5,99	5,92	6,12	3,50	3,52	4,26	4,48	4,40	4,52	4,43	4,55
	3	5,89	6,49	6,45	6,61	3,55	3,55	4,52	4,54	4,51	4,77	4,53	4,81
	4	6,21	6,58	6,73	6,95	3,61	3,70	4,61	4,88	4,60	4,88	4,62	4,92
	5	6,48	6,85	6,75	6,99	4,03	4,50	4,66	4,92	4,95	5,14	4,96	5,28

Tab. P14 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro pevnosti spojů v tahu (tab. P8) pro materiál KIRA – $f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$

KIRA	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$				$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$				$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	19,79	32,83	36,44	47,91	168,09	175,68	182,03	191,45	210,09	212,94	235,88	258,79
	s	1,69	1,84	2,14	3,48	7,84	11,61	5,19	13,48	8,00	6,15	6,19	7,29
	v [%]	8,54	5,60	5,87	7,26	4,66	6,61	2,85	7,04	3,81	2,89	2,62	2,82
	s^2	2,86	3,39	4,58	12,11	61,47	134,79	26,94	181,71	64,00	37,82	38,32	53,14
	95% IS	<18,18; 21,40>	<31,08; 34,58>	<34,40; 38,48>	<44,60; 51,22>	<160,62; 175,56>	<164,62; 186,74>	<177,09; 186,97>	<178,61; 204,29>	<202,47; 217,71>	<207,08; 218,80>	<229,98; 241,78>	<251,85; 265,73>
P2	\bar{x}	91,68	108,59	149,79	161,19	168,38	180,55	211,80	214,60	229,24	232,11	248,78	267,89
	s	7,43	9,93	9,49	14,48	9,95	10,18	10,77	14,09	7,61	6,79	11,39	13,43
	v [%]	8,10	9,14	6,34	8,98	5,91	5,64	5,08	6,57	3,32	2,93	4,58	5,01
	s^2	55,20	98,60	90,06	209,67	99,00	103,63	115,99	198,53	57,91	46,10	129,73	180,36
	95% IS	<84,60; 98,76>	<99,13; 118,05>	<140,75; 158,83>	<147,40; 174,98>	<158,90; 177,86>	<170,85; 190,25>	<201,54; 222,06>	<201,18; 228,02>	<221,99; 236,49>	<225,64; 238,58>	<237,93; 259,63>	<255,10; 280,68>
P3	\bar{x}	180,76	184,56	218,45	220,64	169,05	183,98	227,80	228,49	232,92	255,32	256,61	285,47
	s	9,82	11,80	15,16	12,04	15,18	12,02	13,94	15,52	10,87	9,49	13,53	8,36
	v [%]	5,43	6,39	6,94	5,46	8,98	6,53	6,12	6,79	4,67	3,72	5,27	2,93
	s^2	96,43	139,24	229,83	144,96	230,43	144,48	194,32	240,87	118,16	90,06	183,06	69,89
	95% IS	<171,41; 190,11>	<173,32; 195,80>	<204,01; 232,89>	<209,17; 232,11>	<154,59; 183,51>	<172,53; 195,43>	<214,52; 241,08>	<213,71; 243,27>	<222,57; 243,27>	<246,28; 264,36>	<243,72; 269,50>	<277,51; 293,43>

Tab. P15 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro pevnosti spojů v tahu (tab. P9) pro materiál FADUN – $f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$

FADUN	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$				$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$				$f [N \cdot kg^{-1} \cdot m^2]$			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	9,05	9,35	41,23	42,97	175,44	184,44	222,89	225,55	258,68	271,77	283,38	284,06
	s	2,50	1,13	2,30	3,03	4,51	15,26	2,81	20,93	9,29	13,59	9,05	15,52
	v [%]	27,62	12,09	5,58	7,05	2,57	8,27	1,26	9,28	3,59	5,00	3,19	5,46
	s^2	6,25	1,28	5,29	9,18	20,34	232,87	7,90	438,06	86,30	184,69	81,90	240,87
	95% IS	<6,67; 11,43>	<8,27; 10,43>	<39,04; 43,42>	<40,08; 45,86>	<171,14; 179,74>	<169,90; 198,98>	<220,21; 225,57>	<205,61; 245,49>	<249,83; 267,53>	<258,82; 284,72>	<274,76; 292,00>	<269,28; 298,84>
P2	\bar{x}	58,75	90,31	106,34	122,35	184,69	184,88	231,82	232,01	273,66	277,66	301,84	306,25
	s	19,49	14,28	16,32	10,31	18,50	16,55	5,59	16,56	15,90	14,03	6,71	13,97
	v [%]	33,17	15,81	15,35	8,43	10,02	8,95	2,41	7,14	5,81	5,05	2,22	4,56
	s^2	379,86	203,92	266,34	106,30	342,25	273,90	31,25	274,23	252,81	196,84	45,02	195,16
	95% IS	<40,18; 77,32>	<76,71; 103,91>	<90,79; 121,89>	<112,53; 132,17>	<167,07; 202,31>	<169,12; 200,64>	<226,50; 237,14>	<216,24; 247,78>	<258,51; 288,81>	<264,30; 291,02>	<295,45; 308,23>	<292,94; 319,56>
P3	\bar{x}	174,73	179,34	222,60	223,39	219,82	222,48	251,31	260,95	296,12	299,62	334,44	343,94
	s	19,93	18,05	27,09	8,74	10,32	11,09	12,29	4,18	9,38	11,11	5,91	10,38
	v [%]	11,41	10,06	12,17	3,91	4,69	4,98	4,89	1,60	3,17	3,71	1,77	3,02
	s^2	397,20	325,80	733,87	76,39	106,50	122,99	151,04	17,47	87,98	123,43	34,93	107,74
	95% IS	<155,75; 193,71>	<162,15; 196,53>	<196,80; 248,40>	<215,06; 231,72>	<209,99; 229,65>	<211,92; 233,04>	<239,60; 263,02>	<256,97; 264,93>	<287,18; 305,06>	<289,04; 310,20>	<328,81; 340,07>	<334,05; 353,83>

Tab. P16 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro pevnosti spojů v tahu (tab. P10) pro materiál AMORUN – f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]

AMORUN	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]				f [$\text{N}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^2$]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	78,36	90,96	123,07	127,37	167,87	170,38	245,25	253,07	255,13	255,76	269,86	270,08
	s	11,13	6,65	5,43	15,67	10,25	12,17	5,19	14,42	9,76	22,32	4,30	15,55
	v [%]	14,20	7,31	4,41	12,30	6,11	7,14	2,12	5,70	3,83	8,73	1,59	5,76
	s^2	123,88	44,22	29,48	245,55	105,06	148,11	26,94	207,94	95,26	498,18	18,49	241,80
	95% IS	<67,76; 88,96>	<84,63; 97,29>	<117,90; 128,24>	<112,44; 142,30>	<158,11; 177,63>	<158,79; 181,97>	<240,31; 250,19>	<239,33; 266,81>	<245,83; 264,43>	<234,50; 277,02>	<265,76; 273,96>	<255,27; 284,89>
P2	\bar{x}	280,89	286,92	351,83	364,76	216,04	220,83	272,39	273,08	284,28	294,23	316,48	327,72
	s	6,59	11,04	8,67	14,30	16,54	16,97	15,42	15,63	10,43	10,53	14,09	10,65
	v [%]	2,35	3,85	2,46	3,92	7,66	7,68	5,66	5,72	3,67	3,58	4,45	3,25
	s^2	43,43	121,88	75,17	204,49	273,57	287,98	237,78	244,30	108,78	110,88	198,53	113,42
	95% IS	<274,61; 287,17>	<276,40; 297,44>	<343,57; 360,09>	<351,14; 378,38>	<200,28; 231,80>	<204,66; 237,00>	<257,70; 287,08>	<258,19; 287,97>	<274,34; 294,22>	<284,20; 304,26>	<303,06; 329,90>	<317,58; 337,86>
P3	\bar{x}	473,01	495,54	489,22	506,69	241,65	245,35	278,22	279,12	303,55	311,52	327,01	333,74
	s	14,18	8,46	10,52	12,81	8,09	14,73	9,67	18,14	6,07	20,64	16,47	10,54
	v [%]	3,00	1,71	2,15	2,53	3,35	6,00	3,48	6,50	2,00	6,63	5,04	3,16
	s^2	201,07	71,57	110,67	164,10	65,45	216,97	93,51	329,06	36,84	426,01	271,26	111,09
	95% IS	<459,50; 486,52>	<487,48; 503,60>	<479,20; 499,24>	<494,49; 518,89>	<233,94; 249,36>	<231,32; 259,38>	<269,01; 287,43>	<261,84; 296,40>	<297,77; 309,33>	<291,86; 331,18>	<311,32; 342,70>	<323,70; 343,78>

Tab. P17 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro tažnosti spojů (tab. P11) pro materiál KIRA – ε [%]

KIRA	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		ε [%]				ε [%]				ε [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	0,78	1,19	2,52	2,74	3,70	4,09	4,38	4,52	4,80	5,02	6,26	6,82
	s	0,12	0,13	0,11	0,38	0,21	0,11	0,06	0,41	0,18	0,30	0,15	0,19
	v [%]	15,38	10,92	4,37	13,87	5,68	2,69	1,37	9,07	3,75	5,98	2,40	2,79
	s^2	0,01	0,02	0,01	0,14	0,04	0,01	0,00	0,17	0,03	0,09	0,02	0,04
	95% IS	<0,67; 0,89>	<1,07; 1,31>	<2,42; 2,62>	<2,38; 3,10>	<3,50; 3,90>	<3,99; 4,19>	<4,32; 4,44>	<4,13; 4,91>	<4,63; 4,97>	<4,73; 5,31>	<6,12; 6,40>	<6,64; 7,00>
P2	\bar{x}	3,49	3,75	3,65	4,07	4,01	4,14	4,88	5,17	5,71	6,17	6,61	7,15
	s	0,14	0,27	0,22	0,31	0,24	0,19	0,42	0,15	0,06	0,38	0,25	0,94
	v [%]	4,01	7,20	6,03	7,62	5,99	4,59	8,61	2,90	1,05	6,16	3,78	13,15
	s^2	0,02	0,07	0,05	0,10	0,06	0,04	0,18	0,02	0,00	0,14	0,06	0,88
	95% IS	<3,36; 3,62>	<3,49; 4,01>	<3,44; 3,86>	<3,77; 4,37>	<3,78; 4,24>	<3,96; 4,32>	<4,48; 5,28>	<5,03; 5,31>	<5,65; 5,77>	<5,81; 6,53>	<6,37; 6,85>	<6,25; 8,05>
P3	\bar{x}	4,27	4,51	5,17	5,35	4,13	4,34	5,36	5,70	5,97	6,36	7,26	7,89
	s	0,37	0,36	0,37	0,69	0,40	0,46	0,18	0,88	0,42	0,57	0,56	0,11
	v [%]	8,67	7,98	7,16	12,90	9,69	10,60	3,36	15,44	7,04	8,96	7,71	1,39
	s^2	0,14	0,13	0,14	0,48	0,16	0,21	0,03	0,77	0,18	0,32	0,31	0,01
	95% IS	<3,92; 4,62>	<4,17; 4,85>	<4,82; 5,52>	<4,69; 6,01>	<3,75; 4,51>	<3,90; 4,78>	<5,19; 5,53>	<4,86; 6,54>	<5,57; 6,37>	<5,82; 6,90>	<6,73; 7,79>	<7,79; 7,99>

Tab. P18 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro tažnosti spojů (tab. P12) pro materiál FADUN – ε [%]

FADUN	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		ε [%]				ε [%]				ε [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	0,96	1,07	2,99	3,47	4,07	4,84	4,71	5,52	5,01	5,84	5,71	6,41
	s	0,22	0,02	0,32	0,18	0,39	0,37	0,17	0,44	0,31	0,82	0,09	0,78
	v [%]	22,92	1,87	10,70	5,19	9,58	7,64	3,61	7,97	6,19	14,04	1,58	12,17
	s^2	0,05	0,00	0,10	0,03	0,15	0,14	0,03	0,19	0,10	0,67	0,01	0,61
	95% IS	<0,75; 1,17>	<1,05; 1,09>	<2,69; 3,29>	<3,30; 3,64>	<3,70; 4,44>	<4,49; 5,19>	<4,55; 4,87>	<5,10; 5,94>	<4,71; 5,31>	<5,06; 6,62>	<5,62; 5,80>	<5,67; 7,15>
P2	\bar{x}	3,24	3,81	3,38	4,02	4,21	5,04	4,83	5,73	5,26	6,31	6,09	6,58
	s	0,20	0,31	0,29	0,23	0,38	0,29	0,15	0,46	0,30	0,45	0,19	0,55
	v [%]	6,17	8,14	8,58	5,72	9,03	5,75	3,11	8,03	5,70	7,13	3,12	8,36
	s^2	0,04	0,10	0,08	0,05	0,14	0,08	0,02	0,21	0,09	0,20	0,04	0,30
	95% IS	<3,05; 3,43>	<3,51; 4,11>	<3,10; 3,66>	<3,80; 4,24>	<3,85; 4,57>	<4,76; 5,32>	<4,69; 4,97>	<5,29; 6,17>	<4,97; 5,55>	<5,88; 6,74>	<5,91; 6,27>	<6,06; 7,10>
P3	\bar{x}	3,49	4,08	4,58	5,34	4,43	5,20	4,96	5,81	5,75	6,46	7,13	8,13
	s	0,20	0,40	0,24	0,34	0,19	0,75	0,44	0,52	0,25	0,47	0,33	0,74
	v [%]	5,73	9,80	5,24	6,37	4,29	14,42	8,87	8,95	4,35	7,28	4,63	9,10
	s^2	0,04	0,16	0,06	0,12	0,04	0,56	0,19	0,27	0,06	0,22	0,11	0,55
	95% IS	<3,30; 3,68>	<3,70; 4,46>	<4,35; 4,81>	<5,02; 5,66>	<4,25; 4,61>	<4,49; 5,91>	<4,54; 5,38>	<5,31; 6,31>	<5,51; 5,99>	<6,01; 6,91>	<6,82; 7,44>	<7,43; 8,83>

Tab. P19 Vypočítané hodnoty daných ukazatelů pro tažnosti spojů (tab. P13) pro materiál AMORUN – ε [%]

AMORUN	počítané ukazatele	K1				K2				K3			
		ε [%]				ε [%]				ε [%]			
		min.		max.		min.		max.		min.		max.	
		Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O	Ú	O
P1	\bar{x}	1,36	1,85	2,49	2,61	2,96	2,96	3,85	3,89	4,03	4,06	4,06	4,10
	s	0,18	0,21	0,28	0,23	0,10	0,16	0,36	0,22	0,49	0,33	0,48	0,36
	v [%]	13,24	11,35	11,24	8,81	3,38	5,41	9,35	5,66	12,16	8,13	11,82	8,78
	s^2	0,03	0,04	0,08	0,05	0,01	0,03	0,13	0,05	0,24	0,11	0,23	0,13
	95% IS	<1,19; 1,53>	<1,65; 2,05>	<2,22; 2,76>	<2,39; 2,83>	<2,86; 3,06>	<2,81; 3,11>	<3,51; 4,19>	<3,68; 4,10>	<3,56; 4,50>	<3,75; 4,37>	<3,60; 4,52>	<3,76; 4,44>
P2	\bar{x}	4,48	4,61	5,87	6,10	3,43	3,43	4,14	4,15	4,53	4,65	4,58	4,78
	s	0,31	0,36	0,11	0,53	0,20	0,19	0,15	0,44	0,23	0,53	0,26	0,50
	v [%]	6,92	7,81	1,87	8,69	5,83	5,54	3,62	10,60	5,08	11,40	5,68	10,46
	s^2	0,10	0,13	0,01	0,28	0,04	0,04	0,02	0,19	0,05	0,28	0,07	0,25
	95% IS	<4,18; 4,78>	<4,27; 4,95>	<5,77; 5,97>	<5,60; 6,60>	<3,24; 3,62>	<3,25; 3,61>	<4,00; 4,28>	<3,73; 4,57>	<4,31; 4,75>	<4,15; 5,15>	<4,33; 4,83>	<4,30; 5,26>
P3	\bar{x}	5,99	6,16	6,35	6,37	3,62	3,73	4,45	4,57	4,57	4,68	4,59	4,80
	s	0,36	0,77	0,42	0,75	0,24	0,44	0,21	0,35	0,23	0,40	0,22	0,33
	v [%]	6,01	12,50	6,61	11,77	6,63	11,80	4,72	7,66	5,03	8,55	4,79	6,88
	s^2	0,13	0,59	0,18	0,56	0,06	0,19	0,04	0,12	0,05	0,16	0,05	0,11
	95% IS	<5,65; 6,33>	<5,43; 6,89>	<5,95; 6,75>	<5,66; 7,08>	<3,39; 3,85>	<3,31; 4,15>	<4,25; 4,65>	<4,24; 4,90>	<4,35; 4,79>	<4,30; 5,06>	<4,38; 4,80>	<4,49; 5,11>